

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри МАХНВ

_____ Я. М. Корнієнко
(підпис)

“ ” _____ 20__ р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

на здобуття ступеня бакалавра

за напрямом підготовки: 13 – Машинобудування

спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

спеціалізація: Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

на тему: Модернізація теплообмінника «труба в трубі» виробництва етилового спирту

Виконав студент IV курсу, групи ЛН-51

Крамар Олександра Владиславівна

Керівник проекту доцент, канд. техн. наук, І. А. Андреев
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультанти:
з охорони праці доцент, канд. техн. наук, І. М. Ковтун
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

з економіки асистент, канд. техн. наук, С. С. Гайдай
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент:
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____ О. В. Крамар

Київ – 2019

Реферат

УДК 66.045

Модернізація теплообмінника труба в трубі установки виробництва етилового спирту: Дипломний проект ОКР «Бакалавр»/НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»; Керівник – І. А. Андреев. – К., 2019. - 83 с. Виконавець. – О. В. Крамар – Бібліогр.: 82 с.

Пояснювальна записка складається із вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань із 11 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 83 с. основного тексту, 18 рисунків, 9 таблиць і 4 додатків.

Метою проекту є проектування і розробка конструкції теплообмінника труба в трубі призначеного для охолодження етилового спирту продуктивністю 0,198 кг/с.

Поставлена задача досягається шляхом аналітичного визначення поверхні теплообміну, виконанням параметричного, гідравлічного, фланцевого розрахунків та розрахунків на міцність основних вузлів: товщини стінок труб апарата, опор. Для перевірконого розрахунку фланцевого з'єднання наведені алгоритмічна схема, таблиця ідентифікаторів, та програма, виконана на алгоритмічній мові Mathcad 15. Виконано аналіз результатів та зроблено висновки. Наведено список використаної літератури.

Розрахунково-пояснювальна записка містить схему і опис технологічної схеми виробництва етилового спирту та опис конструкції теплообмінника труба в трубі для охолодження етилового спирту. Графічна частина проекту включає чотири креслення формату А1, що містять технологічну схему виробництва етилового спирту, складальне креслення теплообмінника та креслення складальних одиниць та деталей.

Здійснено патентний пошук та порівняння вибраної конструкції з аналогами. За цими даними вибрано конструктивні розміри апарата.

ОХОЛОДЖЕННЯ, ЕТИЛОВИЙ СПИРТ, ТРУБА В ТРУБІ, ТЕПЛООБМІННИК, ЕЛЕМЕНТ, ОПОРА, ТЕПЛООБМІН, КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ.

Модернизация теплообменника труба в трубе установки производства этилового спирта: Дипломный проект ОКР «Бакалавр» / НТУУ «КПИ имени Игоря Сикорского»; Руководитель - И. А. Андреев. - К., 2019. - 83 с. Исполнитель. – А. В. Крамар - Библиогр.: 83 с.

Пояснительная записка состоит из введения, 8 разделов, выводов, список ссылок из 11 наименований. Общий объем работы составляет 83 с. основного текста, 18 рисунков, 9 таблиц и 4 приложений.

Целью проекта является проектирование и разработка конструкции теплообменника труба в трубе предназначенного для охлаждения этилового спирта производительностью 0,198 кг / с.

Поставленная задача достигается путем аналитического определения поверхности теплообмена, выполнением параметрического, гидравлического, фланцевого расчетов и расчетов на прочность основных узлов: толщины стенок труб аппарата, опор. Для проверочного расчета фланцевого соединения приведены алгоритмическая схема, таблица идентификаторов, и программа, выполненная на алгоритмическом языке Mathcad 15. Выполнен анализ результатов и сделаны выводы. Приведен список использованной литературы.

Расчетно-пояснительная записка содержит схему и описание технологической схемы производства этилового спирта и описание конструкции теплообменника труба в трубе для охлаждения этилового спирта. Графическая часть проекта включает четыре чертежи формата А1, содержащие технологическую схему производства этилового спирта, сборочный чертеж теплообменника и чертежи сборочных единиц и деталей.

Осуществлен патентный поиск и сравнение выбранной конструкции с аналогами. По этим данным выбрано конструктивные размеры аппарата.

ОХЛАЖДЕНИЕ, ЭТИЛОВЫЙ СПИРТ, ТРУБА В ТРУБЕ, ТЕПЛООБМЕННИК, ЭЛЕМЕНТ, ОПОРА, ТЕПЛООБМЕН, КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ.

Abstract

UDC 66.045

The Bachelor Diploma project on the theme: "Modernization of pipe in pipe heat exchanger of ethyl alcohol production plant ": / National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"; Scientific supervisor – I. Andrejev. – K., 2019.- 83p. Developer. – O. Kramar – Bibliography 83 p.

The explanatory note consists of an introduction, 8 chapters, a conclusion, a reference list of 11 items. The total volume of work 83 p., 18 figures, 9 tables and 4 appendices.

The objective of the study is to design and the development of the design heat exchanger pipe designed to cool ethyl alcohol capacity of 0,198 kg / s.

The assigned aim is attained by the analytical definition of a heat exchanger surface, by performance of hydraulic, flange connections calculations and also by carrying out of calculations on durability of the reference nodes and details of a design. Algorithmic schemes, a table of identifiers and program are resulted for checking calculation of flange connections. The program is executed on algorithmic language Mathcad 15. The analysis of given is resulted and conclusions are designed. There is a list of the bibliography.

The calculation and the explanatory note contain a description of the technological scheme processing ethyl alcohol production plant and a description of the design of the heat exchanger tube in tube to cool ethyl alcohol. The graphical part of the project includes four drawings A1, containing the technological scheme of the ethyl alcohol production plant, heat exchanger assembly drawings and drawings of assembly units and parts.

It was carried out the patent search and the comparing of the chosen design of analogues. Based on the data, the improved design size of the machine was chosen.

COOLING, ETHYL ALCOHOL, DOUBLE PIPE, HEAT EXCHANGE, CASE, PROP, HEAT-TRANSFER COEFFICIENT

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів

Умовні позначення:

h – висота, м;

c – прибавка до розрахункової товщини, м;

D, d – діаметри, м;

N – потужність, Вт;

G – масова витрата, кг/с;

P – тиск, Па;

T – температура, К;

ρ – густина, кг/м³;

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості, м²/с;

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі до внутрішньої поверхні труби, Вт/м²·К;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі до зовнішньої поверхні труби, Вт/м²·К;

K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²·К.

Критерії:

Nu – критерій Нуссельта;

Re – критерій Рейнольдса;

Gr – критерій Грасгофа.

Вступ

Охолодження етилового спирту досягається застосуванням різних типів теплообмінників (трубчастих, труба в трубі, кожухотрубних), які використовуються в якості теплоносія. Загальним у конструкції таких теплообмінників є відвід тепла через поверхню, що відокремлює продукт від теплоносія (непряме охолодження).

До теплообмінників для охолодження етилового спирту пред'являються наступні вимоги: безперервність роботи, довгий термін роботи, легкість у збиранні конструкції, а також надійність в експлуатації.

Метою даного проекту є розробка конструкції і проектування теплообмінника «труба в трубі» для охолодження етилового спирту від 354 К до 293 К.

Для виконання поставленої мети проекту необхідно відповідно до заданих умов потрібно обрати найбільш відповідну конструкцію апарата, провести розрахунки для підтвердження працездатності та надійності обраної конструкції у визначених умовах експлуатації, виконати комплект креслень, що розкриває конструкцію апарата.

Проект містить докладні відомості про призначення та область застосування теплообмінника «труба в трубі» в різних галузях промисловості; технічну характеристику, опис конструкції апарата та обґрунтування її вибору, яке базується на порівнянні окремих класифікаційних ознак апарата та визначається умовами експлуатації. Приводиться порівняння основних показників апарата із його аналогами.

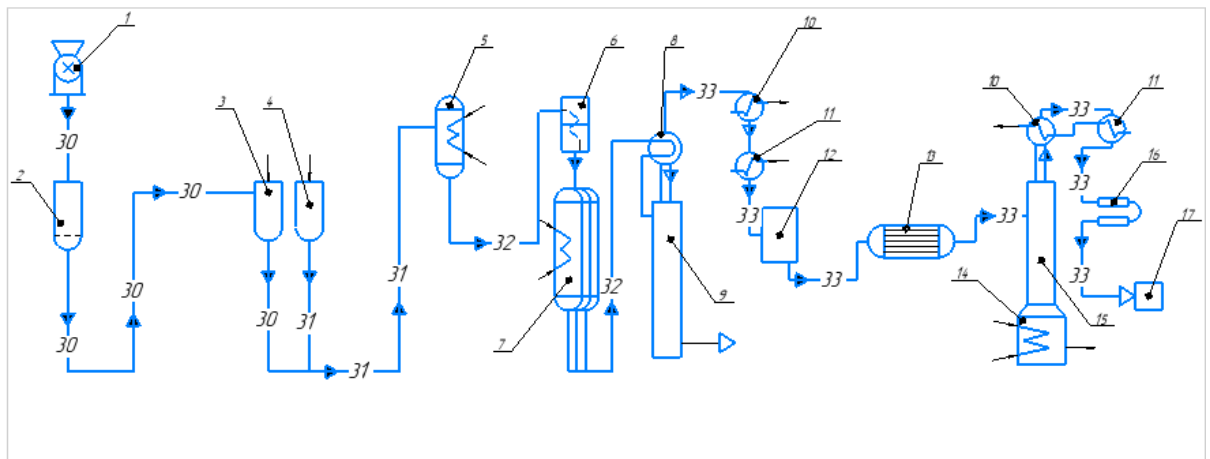
Завдання на проектування одержане під час проходження виробничої практики в НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, на кафедрі МАХНВ 15 квітня 2019р.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 12 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1 Призначення та область застосування теплообмінного апарата

1.1 Опис технологічного процесу

Технологічна схема виготовлення етилового спирту показана на рисунку 1.1, працює наступним чином [1].



- 1 – млин; 2 – змішувач; 3 – варильний апарат;
4 – парогенератор; 5 – апарат для збагачення цукром; 6 – холодильник сусла; 7 – бродильний апарат; 8 – підігрівач; 9 – колона бродіння;
10 – дефлегматор; 11 – конденсатор; 12 – збірник;
13 – кожухотрубний теплообмінник; 14 – куб; 15 – ректифікаційна колона;
16 – теплообмінник «труба в трубі»; 17 – збірник.

Рисунок 1.1 – Технологічна схема виготовлення етилового спирту

Сировину за допомогою транспорту завантажують до млину 1, де її подрібнюють. Транспортером сировина надходить до змішувача 2 для очистки від домішок. За допомогою насоса перекачується до варильного апарату 3, де відбувається тепла обробка з водою для руйнування клітинної структури і розчинення крохмалю. Після обробки отриману масу подають до парогенератора 4 для дальшого нагрівання і потрапляє до апарату 5 для збагачення крохмалю цукром під дією ферментів. Відразу суміш надходить до холодильника сусла 6 для охолодження і потрапляє до бродильного апарату 7, де відбувається зброджування

мальтози в етиловий спирт і вуглекислий газ під дією ферментів дріжджів для отримання зрілої браги.

В апараті 8 підігривають отриману брагу і подають на колону бродіння 9 для виділення з браги спирту шляхом її перегонки з паром. В дефлегматорі 10 відбувається часткова конденсація продукту, який потрапляє в конденсатор 11. Після конденсації вихідний продукт збирають в збірник спирту-сировини 12. Цей продукт надходить до кожухотрубного теплообмінника 13, де нагрівається до температури кипіння, і подають в ректифікаційну колону 15 для виділення більш концентрованого продукту. Одержаний спирт конденсується в конденсаторі 13 і потрапляє в теплообмінник «труба в трубі» 16 для охолодження до температури навколишнього середовища. Після охолодження готовий продукт збирають в збірник спирту 17.

1.2 Вибір типу теплообмінного апарата і його місце в технологічній схемі

Теплообмінник «труба в трубі» належить до теплообмінної апаратури і використовується для процесів із порівняно невеликими тепловими навантаженнями і відповідно малими поверхнями теплообміну в хімічній, нафтопереробній, харчовій, теплоенергетичній та споріднених галузях промисловості.

Теплообмін здійснюється в протivotоці при одночасному проходженні спирту по внутрішній трубі та охолоджуючого агенту – по зовнішній. Спирт протікає по внутрішній трубці, зовнішні стінки її омивають охолоджуючим агентом, який тече по зовнішній трубці. Через те, що даний теплообмінник має невеликий поперечний переріз, то легко можна досягти високі швидкості теплоносіїв в трубах і міжтрубному просторі. Якщо досягається значна кількість теплоносіїв, то теплообмінники становлять із декількох паралельних секцій, що приєднуються до загальних колекторів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 14 |

Даний теплообмінник містить сукупність співвісно розміщених горизонтальних труб, зовнішні з яких з'єднано між собою за допомогою тангенційних патрубків з фланцями, а внутрішні – тангенційних патрубків з фланцями.

Охолодження зазвичай проводиться холодною водою, яку запускають в міжтрубний простір.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 15 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

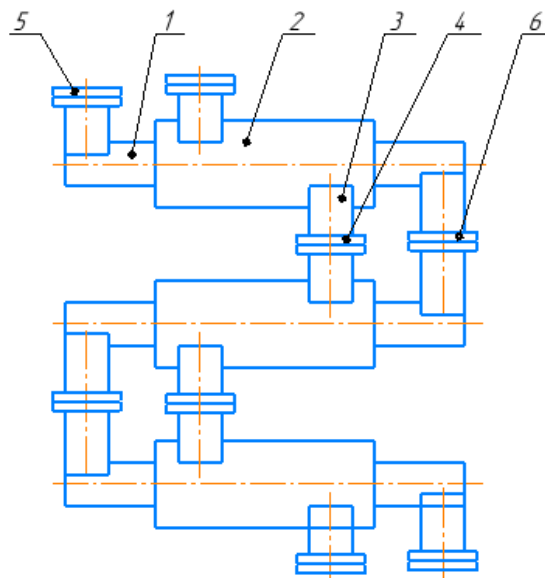
2 Технічна характеристика апарата

| | |
|--|-----------------|
| Продуктивність по охолодженню спирту, кг/с, G_1 | 0,198; |
| Початкова температура охолоджуючої води, К, $T_{2п}$ | 293; |
| Кінцева температура охолоджуючої води, К, $T_{2к}$ | 329; |
| Початкова температура спирту, К, $T_{1п}$ | 351; |
| Кінцева температура спирту, К, $T_{1к}$ | 313; |
| Робочий тиск, МПа: | |
| – в трубному просторі | 0,6; |
| – в міжтрубному просторі | 0,5; |
| Загальна поверхня теплообміну, м ² | 1,89; |
| Загальна кількість елементів, шт.: | 10; |
| Загальна кількість секцій, шт. | 1; |
| Довжина труб апарата, м | 3; |
| Зовнішній діаметр зовнішньої труби, м | 0,025; |
| Зовнішній діаметр внутрішньої труби, м | 0,057; |
| Товщина стінок апарата, м | 0,004; |
| Маса апарата, кг | 324; |
| Габаритні розміри: | |
| – довжина, м | 3,1; |
| – ширина, м | 0,13; |
| – висота, м | 2,8; |
| Робоче середовище: | |
| – в трубному просторі | етиловий спирт; |
| – в міжтрубному просторі | вода. |

3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції теплообмінника

3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей теплообмінника

Теплообмінний апарат, конструктивна схема якого наведена на рисунку 3.1, призначений для охолодження етилового спирту. Теплообмінний апарат складається з: елементів, які утворені звареними між собою внутрішньою та зовнішньою трубою різних діаметрів, калачів, які з'єднують елементи один з одним, колекторів (на рисунку не вказано) і тангенційних патрубків для підведення та відведення теплоносіїв, опор, закріплюючих та ущільнюючих елементів.



1 – внутрішня труба; 2 – зовнішня труба; 3 – тангенційні патрубки;
4, 6 – горизонтальні фланці; 5 – тангенційні патрубки.

Рисунок 3.1 – Конструктивна схема теплообмінника

Принцип роботи теплообмінника «труба в трубі» заснований на постійному контакті теплоносія з оброблюваною речовиною. Застосовується теплообмінники в різноманітних технологічних схемах для охолодження чи нагрівання теплоносія

з невеликою площею теплообміну в хімічній, нафтопереробній, теплоенергетичній та споріднених галузях промисловості. Використовувати даний тип теплообмінника можна, наприклад, в харчовій промисловості, а саме для виробництва вина, яблучного соку чи молочної продукції.

Особливістю даного конструкції є те що, теплообмінник «труба в трубі» забезпечує рух теплоносія в зовнішніх та внутрішніх трубах по спіралі, що підвищує інтенсивність процесу теплопередачі. Даний теплообмінник містить сукупність розміщених на паралельних осях горизонтальних труб 1 і 2. Зовнішні труби (труби 2) з'єднані між собою за допомогою тангенційних патрубків 3 з фланцями 4, а внутрішні (труби 1) – тангенційних патрубків 5 з фланцями 6 .

Під час роботи теплообмінника один з теплоносіїв рухається по зовнішніх трубах 2, перетікаючи з одної в іншу крізь тангенційні патрубки 3, а інший теплоносій – по внутрішніх трубах 1, перетікаючи з одної в іншу крізь тангенційні патрубки 5.

Основні вимоги, якими необхідно керуватися при конструюванні теплообмінного апарату:

- забезпечити максимального можливого коефіцієнта теплопередачі та мінімальний гідравлічний опір;
- надійність та герметичність конструкції;
- розбірність та доступність поверхні теплообміну для очищення від забруднення;
- компактність та дешевизна конструкції;
- уніфікація вузлів і деталей;

Інтенсивність процесу теплообміну характеризується коефіцієнтом теплопередачі K . Для того, щоб покращити ефективність процесу теплообміну потрібно змінити форму поверхні теплообміну, еквівалентний діаметр та компонування каналів, які забезпечать оптимальну швидкість руху середовища, середній температурний напір і тощо.

3.2 Вибір матеріалів елементів конструкції апарата

Труби діаметрами 25×3, 57×4 повинні бути виготовлені зі сталі 12Х18Н10Т ГОСТ 9941-81 і випробувані гідравлічним випробовуванням. Сталь 12Х18Н10Т застосовується також при виготовленні обичайок, корпусів, днищ, фланців, люків, трубних решіток, патрубків та інших деталей, що працюють в даному інтервалі температур. Фланці зі сталі 18Х2Н4М4. Це пов'язано з тим, що виникають достатньо великі напруження, тому доцільно використати леговану сталь. Нормативні допустимі напруження для сталі 490 – 500 МПа.

Болти виготовляються із вуглецевої сталі марки 40Х (ГОСТ 1050-74), які використовуються для деталей машин з підвищеними вимогами.

Шайби виготовляються із сталі Ст3сп (ГОСТ 380-2005); межа міцності такої сталі при розтягуванні не менше 380 МПа.

Прокладки виготовляються із пароніту ПОН (481 - 71); прокладки такого типу використовуються при температурі не більшої за $+ 500^{\circ}\text{C} = (773 \text{ К})$ та умовному тиску, що не перевищує 2,5 МПа.

3.3 Порівняння основних показників розробленої конструкції апарата з аналогами

Мета – порівняти основні технологічні показники обраної конструкції апарата з існуючими аналогами та доцільно обґрунтувати використання обраного теплообмінника «труба в трубі».

Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами описані в таблиці 3.1.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 19 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика теплообмінників

| Основні технологічні показники | Теплообмінник, що проектується | Теплообмінник «труба в трубі» | Теплообмінник «труба в трубі» |
|---|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Продуктивність, кг/с, (бали) | 0,198, (5) | 0,198, (5) | 0,15, (4) |
| Площа теплообміну, м ² , (бали) | 1,89, (4) | 1,89, (4) | 1,89, (4) |
| Розміри труб які використовуються, мм, (бали) | 25x3, 57x4, (4) | 38x4, 57x4, (3) | 38x4, 76x4, (3) |
| Загальна кількість елементів, шт., (бали) | 10, (4) | 11, (3) | 10, (4) |
| Кількість секцій, шт., (бали) | 1, (4) | 2, (4) | 2, (4) |
| Маса апарата, кг, (бали) | 324 , (4) | 393, (4) | 405, (4) |
| З'єднання секцій, (бали) | Паралельне, (4) | Послідовне, (4) | Паралельне, (4) |
| Складність конструкції, (бали) | Складна, (4) | Складна, (4) | Складна, (4) |
| Конструктивні розміри, м, (бали) | L=3,1, H=2,8, B=0,13, (4) | L=3,3, H=3,03, B=0,655, (4) | L=3,6, H=2,755, B=0,86, (3) |
| Сума балів | 37 | 35 | 34 |

Висновок: оскільки спроектований теплообмінник «труба в трубі» набрав найбільшу кількість балів, то він є найбільш оптимальним в порівнянні зі своїми аналогами. Додатковою перевагою апарата, що проектується, є його конструкція, а саме виконання фланців тангенційних патрубків горизонтальними. Це дає змогу зменшити їх металоємність, а отже й теплообмінника в цілому. Крім того, таке виконання фланців спрощує складання й розбирання теплообмінника.

3.4 Патентний огляд конструкції апарата

Мета – здійснити патентний пошук апаратів, які за принципом дії подібні до розроблюваного апарату.

Проведений патентний пошук для знаходження об'єктів порівняння та перевірки патентної чистоти конструкції. В результат пошуку були відібрані деякі конструкції, опис яких наведено нижче. Результати пошуку наведені в додатку А.

Предмет пошуку – теплообмінний апарат типу «труба в трубі». Для докладного аналізу було обрано патенти [1-5].

У корисній моделі [2] представлений теплообмінник типу «труба в трубі» (рисунок 3.2), який містить зовнішні труби з'єднані між собою патрубками та розміщені в них внутрішні труби, які мають на своїх кінцевих ділянках фланці.

Теплообмінник містить зовнішні труби 2 з'єднані патрубками 1 зовнішні труби 2 й розміщені в них внутрішні труби 3, споряджені на своїх кінцевих ділянках фланцями.

Покращення цього винаходу полягає в тому, що одну з кінцевих ділянок кожної з внутрішніх труб виконано зігнутою з кутом згину 180° , а другу – прямолінійно.

Переваги:

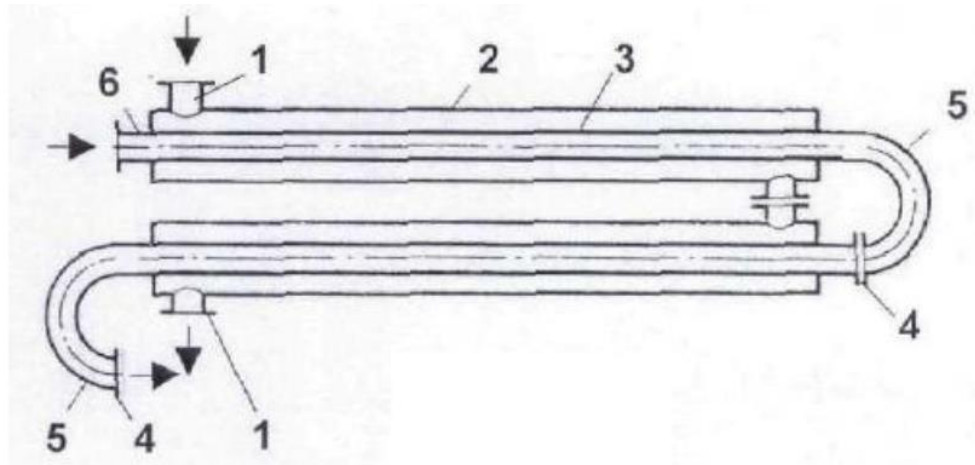
- 1) мала металоємність;
- 2) підвищена надійність теплообмінника.

Недоліки:

- 1) високий гідравлічний опір;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 21 |

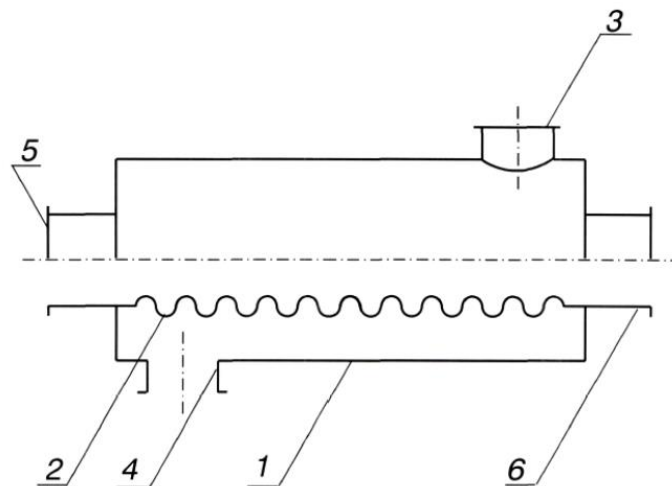
2) мала інтенсивність процесу теплопередачі.



1 – патрубок; 2 – зовнішня труба; 3 – внутрішня труба; 4 – фланець;
5 – кінцева ділянка.

Рисунок 3.2 – Теплообмінник «труба в трубі»

У патенті [3] представлено теплообмінник, який містить зовнішні та внутрішні труби (рисунок 3.3). Корисна модель належить до теплообмінних апаратів і може використовуватись у системах гарячого водопостачання та теплозабезпечення будівель, споруд і геліосистем.



1 – зовнішня труба; 2 – внутрішня гофрована труба; 3 – фланець для подачі в зовнішню трубу; 4 – фланець для відведення з зовнішньої труби; 5 – фланець для подачі в внутрішню трубу; 6 – фланець для відведення з внутрішньої труби.

Рисунок 3.3 – Теплообмінник типу «труба в трубі»

Покращення патенту полягає в тому, що як внутрішні труби теплообмінника застосовано гофровану трубу з нержавіючої сталі.

Теплообмінник складається з зовнішньої труби 1 і внутрішньої гофрованої труби 2, зовнішня труба 1 оснащена фланцем 3 для подачі та фланцем 4 для відведення теплоносія.

Переваги:

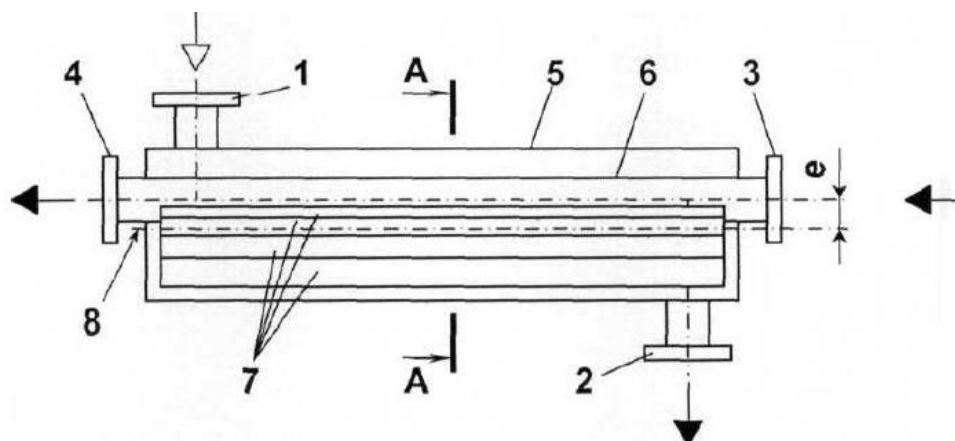
- 1) заявлене виконання теплообмінника здешевлює його виготовлення;
- 2) підвищена експлуатаційна надійність.

Недоліки:

- 1) низький теплообмін при можливій конденсації у внутрішній трубі;
- 2) низький коефіцієнт теплопередачі.

У патенті [4] представлено теплообмінник «труба в трубі» (рисунок 3.4), який містить споряджені патрубками горизонтально розташовані зовнішню трубу й розміщену в ній внутрішню трубу з повздовжніми ребрами на її зовнішній поверхні, при цьому обидві труби встановлені з ексцентриситетом.

Покращенням є те, що внутрішню трубу була зміщена вгору від повздовжньої осі зовнішньої труби, при цьому ребра (рисунок 3.5) виконані на нижній частині внутрішньої труби, а проекція вільної повздовжньої крайки кожного ребра на горизонтальну площину розташована за межами проекції на зазначену площину нижче розташованого ребра.

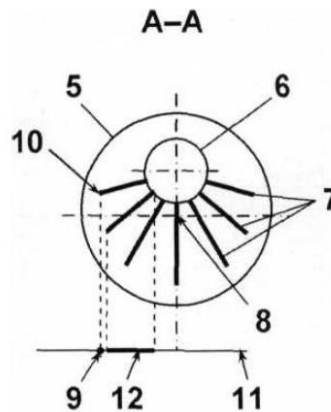


1-4 – патрубки; 5 – зовнішня труба; 6 – внутрішня труба; 7 – повздовжні ребра; 8 – повздовжня вісь.

Рисунок 3.4 – Повздовжній розріз теплообмінник «труба в трубі»

Переваги:

- 1) легке і вчасне видалення утворюваного конденсату на зовнішній поверхні труби;
- 2) підвищена надійність теплообмінника.



5 – зовнішня труба; 6 – внутрішня труба; 7 – ребра; 8 – повздовжня вісь;
9 – проекція вільної повздовжньої крайки; 10 – повздовжня крайка;
11 – горизонтальна площина; 12 – проекція ребра.

Рисунок 3.5 – Розріз за А-А теплообмінника «труба в трубі»

Недоліки:

- 1) складність виготовлення та експлуатації;
- 2) високий гідравлічний опір;
- 3) складність очистки.

У патенті [5] представлено теплообмінник типу «труба в трубі» (рисунок 3.6), який застосовується для підводного охолодження продуктів з нафти. Теплообмінник складається зі з'єднаних між собою зовнішніх труб патрубками та розміщеними в них внутрішніми трубами, аноди та електричні з'єднання при вході та виході теплоносія та джерело живлення.

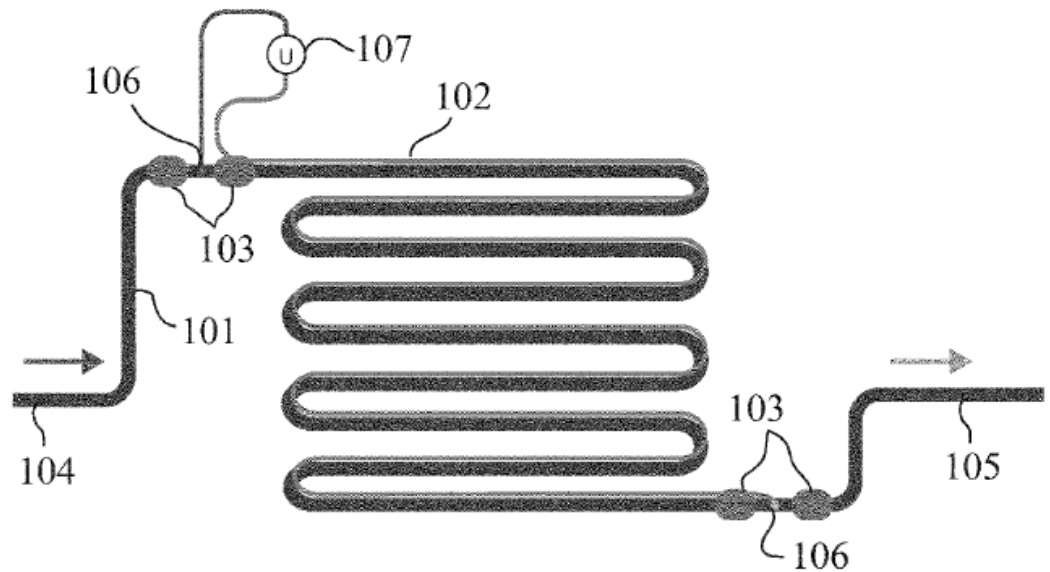
Переваги:

- 1) мала металоємність;
- 2) простота виготовлені та експлуатації.

Недоліки:

- 1) мала ефективність через утворення відкладень на внутрішніх стінках;

2) не підходить для забруднених теплоносіїв.



101 – труба; 102 – з’єднувальний кабель; 103 – аноди; 104 – вхід;
105 – вихід; 106 – електричний з’єднувач; 107 – джерело живлення.

Рисунок 3.6 – Теплообмінник «труба в трубі»

У патенті [6] представлено винахід (рисунок 3.7), який відноситься до способу попереднього нагрівання рідини шляхом передачі тепла від димових газів.

Відповідно до патенту рідину, яку потрібно нагріти, подають до теплообмінника. Ця рідина може бути паливом, таким як повітря, яке насичене киснем, або чистий кисень.

Теплообмінник містить одну чи декілька зовнішню трубу, які з’єднані патрубками, та розміщені в них внутрішні труби. Теплообмінний апарат може переміщатись у витяжний канал та з нього.

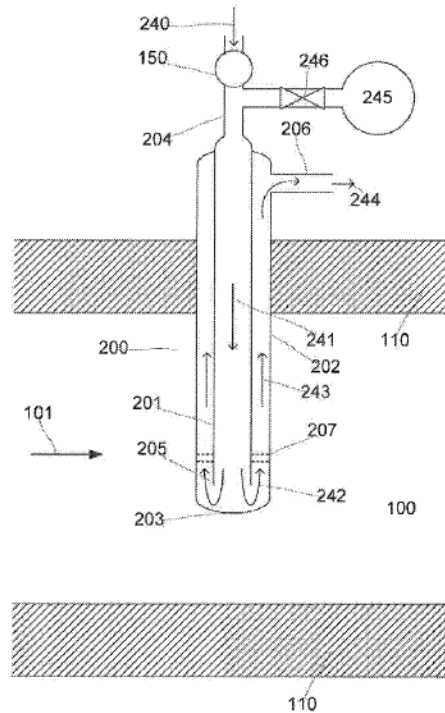
Переваги:

- 1) простота конструкції;
- 2) надійність в експлуатації;
- 3) малий гідравлічний опір.

Недоліки:

- 1) не підходить для забруднених речовин;
- низький теплообмін, оскільки частина тепла при переміщенні

теплообмінника надходить до навколишнього середовища.



100 – витяжний канал; 101 – газ згоряння, 110 – стінка;

200 – теплообмінник «труба в трубі»; 201 – внутрішня труба;

202 – зовнішня труба; 203 – нижній кінець зовнішньої труби; 204 – верхній кінець зовнішньої труби; 205 – нижній кінець внутрішньої труби; 206 – випускний отвір; 207 – розпірки; 246 – клапан.

Рисунок 3.7 – Теплообмінник «труба в трубі»

Висновок: в результаті патентного пошуку серед розглянутих патентів аналогічних конструкцій не знайдено. В запропонованій конструкції апарата не використовуються технічні рішення захищені правами інтелектуальної власності, а отже апарат є патентно чистим. Регламент патентного пошуку наведено в Додатку А.

4 Охорона праці

Охорона праці представляє систему збереження життя, а також здоров'я працівників під час процесу трудової діяльності. На сьогодні це одна з пріоритетних систем на підприємствах в різних галузях. Завдяки дотриманню правил техніки безпеки можливо скоротити випадки травматизму на підприємствах. Основними заходами, які можуть зменшити або попередити травматизм при роботі на дільницях, є автоматизація технологічного процесу.

Відповідно до Закону України “Про охорону праці” виробничі будови, приміщення, обладнання та технологічні процеси повинні відповідати вимогам, що задовольняють безпечним умовам праці.

Тема дипломного проекту – «Модернізація теплообмінника труба в трубі установки виробництва етилового спирту».

У дипломному проекті розглядається виробництво етилового спирту, контроль параметрів технологічного процесу здійснює оператор лінії, що знаходиться в операторній площею $S=42 \text{ м}^2$, а об'єм операторної складає $V=128 \text{ м}^3$.

У зв'язку зі складністю виробництва та виконання сезонних робіт можуть виникнути проблеми з дотриманням безпеки та умов праці.

Основні шкідливі фактори небезпеки під час праці на виробництві:

- електричний струм;
- пожежна небезпека;
- виробничий шум;
- повітря робочої зони;
- промислове освітлення.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 27 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4.1 Виробничий шум

Приміщення, в якому знаходиться виробнича лінія – закритого типу. Основними джерелами шуму в даному виробництві є насоси, млин та інше устаткування лінії, в яких шум досягаю 90 дБА.

Заходи для зниженню шуму механічного походження:

1. модернізація конструкції машини або змінити технологічний процес;
2. акустична обробка приміщення;
3. раціональне планування підприємства та виробничих приміщень;
4. застосування звукоізоляції.

Також можна застосувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) в тому випадку, якщо іншими способами не вдається забезпечити на робочому місці допустимий рівень шуму. Принцип дії ЗІЗ – захистити найбільш чутливий канал впливу шуму на організм працівника – вухо. Застосування засобів дозволяє попередити хвороби органів слуху та нервової системи.

Ці заходи дозволили знизити рівень шуму до 65 дБА, що відповідає вимогам ДСН 3.3.6.037-99.

4.2 Промислове освітлення

Правильно спроектоване та виконане штучне освітлення на підприємствах забезпечує можливість нормальної виробничої діяльності. До освітлення ставляться певні гігієнічні вимоги. Освітлення повинно бути рівномірним і достатнім для швидкого розрізнення об'єктів, також повинне забезпечувати контрастність між об'єктом і фоном. Джерело світла не повинно засліплювати людину і створювати відблиски на об'єкті, який розглядаються.

Застосовувані джерела штучного світла: енергозберігаючі лампи та світлодіодні лампи. Найбільш розповсюджені серед енергозберігаючих ламп – це люмінесцентні лампи низького тиску, потужністю 8...150 Вт. Лампи обираються за ГОСТ 2239-79 та ГОСТ 6825-74.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 28 |

Відповідно до СНиП II-4-79 мінімальна висота над підлогою повинна бути в межах від 2,5м до 4,0м (залежно від характеристики світильника) для світильників загального освітлення з лампами розжарювання, потужність яких до 200 Вт.

За табличними даними, вибираємо енергозберігаючу лампу потужністю 150 Вт, світловий потік якої становить 2500 лм, фактична освітленість становить $E_{\phi}=320$ лк.

Освітленість робочого місця відповідає вимогам ДБН В 2.5.2.8 – 2006.

4.3 Повітря робочої зони

Повітря робочої зони залежно від різних факторів, таких як хімічний склад, фізичні властивостей, наявність чинників, які здатні забруднювати повітря, поділяється на сприятливе, несприятливе або небезпечне.

Сприятливим повітря в робочій зоні буває тоді, коли воно має відповідні показники чистоти, хімічні показники в межах допустимої норми та нормальний мікроклімат.

Робота операторів даного виробництва відноситься до легкої фізичної роботи категорії Іб. Енерговитрати за таких умов праці складають 121 – 150 ккал/год. Склад повітря залежить від параметрів повітря робочої зони: температури, швидкості руху повітря, відносної вологості. Необхідні параметри повітря забезпечується системою проточно-витяжною вентиляцією. Параметри повітря робочої зони повинні відповідати ДСН 3.3.6.042 99, згідно з яким параметри робочої зони відповідають таким вимогам:

- температура в перехідний і холодний періоди року – 18-20 °С;
- відносна вологість – 40-60 %;
- швидкість руху повітря – 0,2 м/с.

Значення параметрів повітря робочої зони забезпечуються:

- в холодну пору року підігрів приміщення батареями з теплоносіями води, що підтримує постійну температуру в приміщенні не нижче 15°С;
- в теплу пору року – вентиляцією через верхні пройоми.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 29 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4.4 Електробезпека

Будь-яке сучасне виробництво пов'язане з використанням електроенергії. Підлога приміщення залізобетонна. На пульті управління машиніста напруга $U=220\text{В}$, частота $f=50\text{ Гц}$. Тип електромережі змінний з ізолюваною нейтраллю.

Під час розробки дипломного проекту були застосовані наступні методи безпеки для запобігання ураження електричним струмом:

- усунути фактори небезпеки ураження людей струмом у разі появи напруги на частинах конструкцій електроустаткування;
- ізоляція струмопровідних частин пульта керування ($R \geq 0,5\text{ МОм}$);
- при роботі з електроінструментом, потрібно застосовувати індивідуальні захисні засоби, такі як діелектричні рукавички і калоші, гумові килимки, ізолювані підставки;
- захисне заземлення, а саме електричний контакт з землею або елементом обладнання, який не знаходить під напругою, але під час експлуатації може опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції.

Заземлення виконують окремим провідником. Під час робіт із заземлювальним провідником заборонено:

- 1) використовувати заземлюваний провідник з іншою метою, крім заземлення;
- 2) приєднувати заземлювальні провідники шляхом скручування проводів;
- 3) використовувати для заземлення будь-які інші провідники, не призначені для цього.

4.5 Пожежна безпека

У виробничому цеху, де працює лінія може горіти: дерево, електропроводка, електрообладнання. На основі цього приміщення відноситься до категорії А і класу зони 2. Це виробництво, в якому використовуються горючі речовини та газ.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 30 |

Протипожежний захист досягається при дотримуванні певних правил:

1. використання засобів для гасіння пожежі і відповідних видів пожежної техніки;
2. нанесення на поверхні конструкції об'єктів вогнезахисних фарб;
3. застосування засобів колективного та індивідуального захисту людей від небезпечних факторів пожежі;
4. застосування автоматичних установок пожежної сигналізації і пожежогасіння;
5. обмеження кількості горючих речовин та матеріалів на виробничих ділянках до мінімальних значень, необхідних для нормального ведення технологічного процесу;
6. застосування засобів протидимного захисту.

В якості засобів оповіщення встановлена пожежна сигналізація із термооповіщувачами ПК4Г.

В якості засобів гасіння пожежі використовують вуглекислі вогнегасники ОУ-8 (3 шт.), щити (2 шт.) і ящики з піском (2 шт.), котрі знаходяться на видних і загальнодоступних місцях.

В робочому приміщенні є два еваковиходи – двостулкові двері шириною 1,5 м, які відкриваються назовні, що відповідає СНиП 2.09.02-85.

При виникненні пожежі використовують порошкові вогнегасники такі як "Сам 9" для пожежогасіння без участі людини.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 31 |

5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції апарата

5.1 Параметричний розрахунок теплообмінника

Головною метою розрахунку є визначення поверхні теплообміну та основних розмірів теплообмінника.

Розрахункова схема представлена на рисунку 5.1.

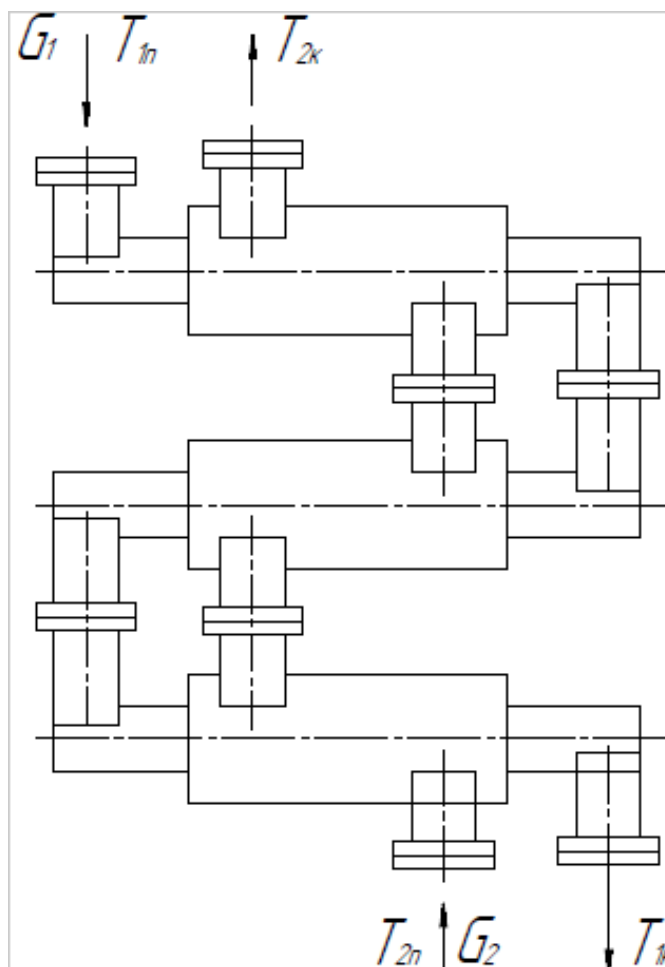


Рисунок 5.1 – Розрахункова схема теплообмінника

Вихідні дані:

| | |
|---|--------|
| Продуктивність охолодження спирту, кг/с, G_1 | 0,198; |
| початкова температура етилового спирту, К, T_{1n} | 351; |
| кінцева температура етилового спирту, К, T_{1k} | 313; |
| початкова температура води, К, T_{2n} | 293; |

кінцева температура води, К, $T_{2к}$

329.

Параметричний розрахунок теплообмінника «труба в трубі» здійснено за методикою, наведеною у [7].

Визначимо витрату теплоти і витрату води. Приймаємо індекс "1" для гарячого теплоносія (етилового спирту), індекс "2" – для холодного теплоносія (води).

Схема температурного режиму представлена на рисунку 5.2.

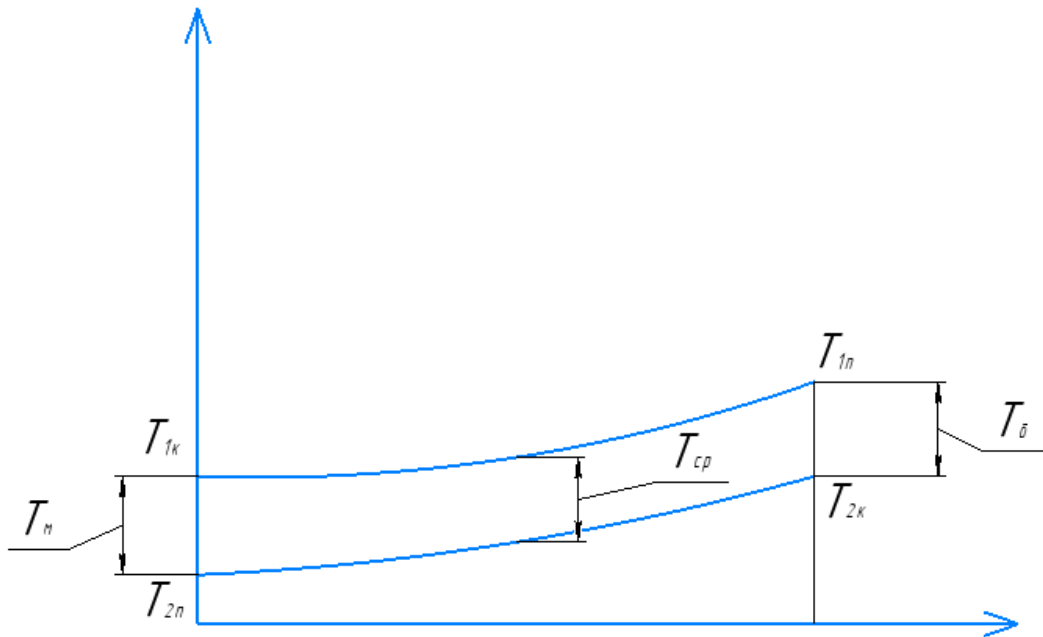


Рисунок 5.2. – Схема температурного режиму

Більша різниця температур на кінцях теплообмінника:

$$\Delta T_6 = T_{1п} - T_{2к} = 351 - 329 = 22 \text{ К.}$$

Менша різниця температур на кінцях теплообмінника:

$$\Delta T_M = T_{1к} - T_{2п} = 313 - 293 = 20 \text{ К.}$$

Оскільки відношення $\frac{\Delta T_6}{\Delta T_M} = \frac{22}{20} = 1,1 \leq 2$, то середню температуру

визначаємо як середнє арифметичне:

$$\Delta T_{cp} = \frac{\Delta T_6 + \Delta T_M}{2} = \frac{22 + 20}{2} = 21 \text{ К.}$$

Середня температури охолоджуючої води:

$$T_2 = \frac{T_{2п} + T_{2к}}{2} = \frac{293 + 329}{2} = 311 \text{ К.}$$

Середня температура спирту:

$$T_1 = T_2 + \Delta T_{\text{сп}} = 311 + 21 = 332 \text{ К.}$$

Температурний потік, який передається від етилового сирту до води, визначається з рівняння теплового балансу з урахуванням витрат в навколишнє середовище у розмірі 5%:

$$Q = 1,05 G_1 c_{p1} (T_{1н} - T_{1к}) = 25438,64 \text{ Вт,}$$

де $c_{p1} = 3220 \text{ Дж/(кг·К)}$ – питома теплоємність етилового сирту при його середній температурі $T_1 = 332 \text{ К}$.

Витрати води:

$$G_2 = \frac{Q}{c_{p2} (T_{2к} - T_{2п})} = 0,168 \text{ кг/с,}$$

де $c_{p2} = 4185 \text{ Дж/(кг·К)}$ – питома теплоємність охолоджуючої води при її середній температурі $T_2 = 311 \text{ К}$.

Об'ємні витрати етилового спирту та охолоджуючої води:

$$V_1 = \frac{G_1}{\rho_1} = 2,64 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с,}$$

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = 1,68 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с,}$$

де $\rho_1 = 748,08 \text{ кг/м}^3$ – густина етилового спирту при його середній температурі; $\rho_2 = 998,6 \text{ кг/м}^3$ – густина охолоджуючої води при її середній температурі.

Визначаємо орієнтовне значення поверхні теплообміну, вважаючи, що $K_{\text{оп}} = 1000 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$, при теплообміні від рідини до рідини (вода):

$$F_{\text{оп}} = \frac{Q}{K_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{сп}}} = \frac{25438,64}{1000 \cdot 21} = 1,2 \text{ м}^2.$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 34 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Опираючись на значення попередньо розрахованої орієнтованої площі обираємо труби для теплообмінника 25×3 мм (внутрішня труба), 57×4 мм (зовнішня труба) [8].

Швидкість води у внутрішній трубі для забезпечення турбулентного режиму руху при $Re = 10000$:

$$\omega_2 = \frac{Re_2 \cdot \mu_2}{d_2 \cdot \rho_2} = \frac{10000 \cdot 1,064 \cdot 10^{-3}}{0,02 \cdot 998,6} = 0,532 \text{ м}^2/\text{с},$$

де $\mu_2 = 1,064 \cdot 10^{-3}$ Па·с – динамічна в'язкість води при її середній температурі.

Кількість труб, які працюють паралельно, не повинна перевищувати:

$$n = \frac{V_2}{\frac{\pi}{4} d_2^2 \cdot \omega_2} = \frac{1,68 \cdot 10^{-4}}{0,785 \cdot 0,02^2 \cdot 0,532} = 1,005.$$

Приймаємо $n = 1$.

Швидкість руху води:

$$\omega_2 = \frac{V_2}{0,785 \cdot n \cdot d_2^2} = \frac{1,68 \cdot 10^{-4}}{0,785 \cdot 1 \cdot 0,02^2} = 0,535 \text{ м/с}.$$

Критерій Рейнольдса для води:

$$Re_2 = \frac{\omega_2 \cdot d_2 \cdot \rho_2}{\mu_2} = \frac{0,535 \cdot 0,02 \cdot 998,6}{1,064 \cdot 10^{-3}} = 10040.$$

Швидкість руху етилового спирту:

$$\omega_1 = \frac{V_1}{S_1} = \frac{V_1}{0,785(D^2 - d^2)n} = \frac{2,64 \cdot 10^{-3}}{0,785(0,057^2 - 0,025^2) \cdot 1} = 1,282 \text{ м/с}.$$

Критерій Рейнольдса для етилового спирту:

$$Re_1 = \frac{\omega_1 \cdot d_e \cdot \rho_1}{\mu_1} = \frac{1,282 \cdot 0,024 \cdot 748,08}{0,603 \cdot 10^{-3}} = 38170,$$

де $\mu_1 = 0,603 \cdot 10^{-3}$ Па·с – динамічна в'язкість етилового спирту при його середній температурі; $d_e = D - d = 0,049 - 0,025 = 0,024$ м – еквівалентний діаметр.

Коефіцієнт ε_1 приймаємо рівним одиниці, вважаючи, що $\frac{L}{d_B} > 50$ за таблицею 4.3.

Приймаємо поправку Міхєєва для спирту $\left(\frac{Pr_l}{Pr_{wl}}\right)^{0,25}$ рівною 0,95 [1].

Критерій Прандтля для етилового спирту:

$$Pr_1 = \frac{c_{p1}\mu_1}{\lambda_1} = \frac{3220 \cdot 0,603 \cdot 10^{-3}}{16,08 \cdot 10^{-2}} = 12,075,$$

де $\lambda_1 = 16,08 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К) – коефіцієнт теплопровідності етилового спирту при його середній температурі.

Значення критерія Нуссельта для етилового спирту:

$$Nu_1 = 0,021 \cdot \varepsilon_1 \cdot Re_1^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \left(\frac{Pr_l}{Pr_{wl}}\right)^{0,25} = 0,021 \cdot 1 \cdot 38170^{0,80} \cdot 12,075^{0,43} \cdot 0,95^{0,25} = 279,05.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від етилового спирту до стінки:

$$\alpha_1' = K_m \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_e} = 1,1 \cdot \frac{279,05 \cdot 16,08 \cdot 10^{-2}}{0,024} = 2056 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)},$$

де $K_m = 1,1$ – коефіцієнт модернізації.

Критерій Прандтля для води:

$$Pr_2 = \frac{c_{p2} \cdot \mu_2}{\lambda_2} = \frac{4185 \cdot 1,065 \cdot 10^{-3}}{0,594} = 7,496,$$

де $\lambda_2 = 0,594$ Вт/(м·К) – коефіцієнт теплопровідності води при її середній температурі.

Приймаємо поправку Міхєєва для спирту $\left(\frac{Pr_l}{Pr_{wl}}\right)^{0,25}$ рівною 1,05 [1].

Критерій Нуссельта для води:

$$Nu_2 = 0,021 \cdot \varepsilon_1 \cdot Re_2^{0,80} \cdot Pr_2^{0,43} \left(\frac{Pr_2}{Pr_{w2}} \right)^{0,25} = 0,021 \cdot 1 \cdot 10040^{0,80} \cdot 7,496^{0,43} \cdot 1,05^{0,25} = 80,18.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до води:

$$\alpha_2' = K_m \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_e} = 1,1 \cdot \frac{80,18 \cdot 0,594}{0,024} = 2182 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Сумарний термічний опір стінки і забруднень з двох сторін:

$$\Sigma r_{\text{ст}} = r_{\text{забр.1}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + r_{\text{забр.2}} = \frac{1}{5800} + \frac{0,003}{15,43} + \frac{1}{5800} = 5,39 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт},$$

де $\lambda_{\text{ст}} = 15,43 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ – коефіцієнт теплопровідності сталі 12Х18Н10Т.

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K^{\wedge} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1'} + \Sigma r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_2'}} = \frac{1}{\frac{1}{2056} + 5,39 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{2182}} = 673,854 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Щільність теплового потоку від спирту до води:

$$q^{\wedge} = K^{\wedge} \cdot \Delta T_{\text{cp}} = 673,854 \cdot 21 = 14150,93 \text{ Вт/м}^2.$$

Визначаємо орієнтовне значення $T'_{\text{ст.1}}$ та $T'_{\text{ст.2}}$:

$$T'_{\text{ст1}} = T_1 - \frac{q^{\wedge}}{\alpha_1'} = 332 - \frac{14150,93}{2056} = 325,19 \approx 325 \text{ К},$$

$$T'_{\text{ст2}} = T_2 + \frac{q^{\wedge}}{\alpha_2'} = 311 + \frac{14150,93}{2182} = 317,55 \approx 318 \text{ К}.$$

Вводимо поправку у коефіцієнт тепловіддачі, визначивши $\left(\frac{Pr}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0,25}$.

Визначаємо критерій Прандтля для етилового спирту при температурі 318К:

$$Pr_{\text{ст1}} = \frac{c_{\text{ст1}} \cdot \mu_{\text{ст1}}}{\lambda_{\text{ст1}}} = \frac{3178 \cdot 0,768 \cdot 10^{-3}}{16,8 \cdot 10^{-2}} = 14,528.$$

Критерій Прандтля для води при температурі 325 К:

$$Pr_{ст2} = \frac{c_{ст2} \cdot \mu_{ст2}}{\lambda_{ст2}} = \frac{4181 \cdot 533,5 \cdot 10^{-6}}{0,65} = 3,43.$$

Коефіцієнт тепловіддачі для етилового спирту:

$$\alpha_1 = \alpha_1' \cdot \left(\frac{Pr_1}{Pr_{ст1}} \right)^{0,25} = 2056 \cdot \left(\frac{12,075}{14,528} \right)^{0,25} = 1963 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі для води:

$$\alpha_2 = \alpha_2' \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{ст2}} \right)^{0,25} = 2182 \cdot \left(\frac{7,496}{3,43} \right)^{0,25} = 2653 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{ст} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1963} + 5,39 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{2653}} = 701,75 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Щільність теплового потоку від спирту до води:

$$q = K \cdot \Delta T_{cp} = 701,75 \cdot 21 = 14736,75 \text{ Вт/м}^2.$$

Перераховуємо значення $T_{ст.1}$, $T_{ст.2}$:

$$T_{ст1} = T_1 - \frac{q}{\alpha_1} = 332 - \frac{14736,75}{1963} = 324,6 \text{ К};$$

$$T_{ст2} = T_2 + \frac{q}{\alpha_2} = 311 + \frac{14736,75}{2653} = 316,6 \text{ К}.$$

$$A_1 = \frac{|q' - q|}{q} \cdot 100\% = \frac{|14150,93 - 14736,75|}{14736,75} \cdot 100\% = 4\% .$$

Оскільки $A_1 < 5\%$, то подальші уточнення недоцільні.

Розрахункова площа теплопередачі:

$$F_p = \frac{Q}{q} = \frac{25438,64}{14736,75} = 1,72 \text{ м}^2.$$

З запасом 10 % $F_p = 1,89 \text{ м}^2$.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 38 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Довжина труб:

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{ср}}} = \frac{1,89}{3,14 \cdot 0,022} = 28 \text{ м.}$$

Приймаємо $L = 3 \text{ м.}$

Площа циліндричної поверхні однієї труби довжиною 3 м:

$$F = \pi \cdot d_{\text{ср}} \cdot L = 3,14 \cdot 0,022 \cdot 3 = 0,2 \text{ м}^2.$$

Кількість необхідних труб:

$$N = \frac{F_p}{F} = \frac{1,89}{0,2} = 9,45 \approx 10.$$

Висновок: загальна площа теплообміну складає $1,89 \text{ м}^2$, а загальна кількість елементів $n \cdot N = 1 \cdot 10 = 10$ шт. Розташовуємо труби в одній секції по 10 труб.

5.2 Гідравлічний розрахунок теплообмінника

Мета гідравлічного розрахунку – гідравлічного опору в міжтрубному і трубному просторі теплообмінника та визначення затрат потужності на переміщення теплоносіїв.

Розрахункова схема визначення гідравлічних опорів зображена на рисунку 5.3. Використовуємо алгоритм, який наведений у [9].

Вихідні дані для розрахунку:

| | |
|---|---------|
| середня температура спирту, К, T_1 : | 332; |
| густина спирту при середній температурі, кг/м^3 , ρ_1 : | 748,08; |
| швидкість спирту, м/с , ω_1 : | 1,282; |
| критерій Рейнольдса для спирту, Re_1 : | 38170; |
| середня температура води, К, T_2 : | 311; |
| густина води при середній температурі, кг/м^3 , ρ_2 : | 998,6; |
| швидкість води, м/с , ω_2 : | 0,535; |
| критерій Рейнольдса для води, Re_2 : | 10040. |

Коефіцієнт тертя λ визначається залежно від режиму. В турбулентних потоках виділяють три зони. Для вибору розрахункової формули необхідно дізнатися відносну шорсткість труб.

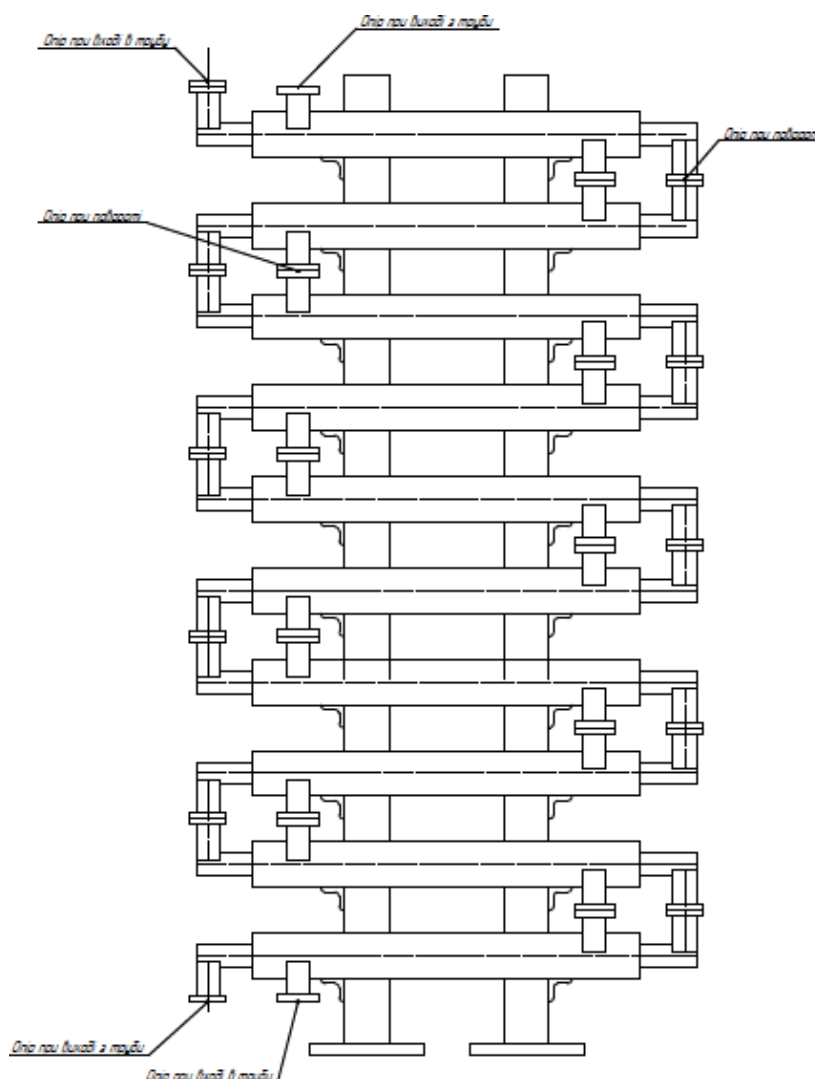


Рисунок 5.3 – Розрахункова схема визначення гідравлічних опорів

Значення відносної шорсткості знайдемо з залежності:

$$e_2 = \frac{\Delta}{d_B} = \frac{0,1}{20} = 0,005,$$

де $\Delta = 0,1$ м – абсолютна шорсткість поверхні [9].

Визначаємо, що в теплообміннику має місце зона змішаного тертя:

$$\frac{10}{e_1} < Re_1 < \frac{560}{e_1},$$

$$\frac{10}{0,005} < 38170 < \frac{560}{0,005},$$

$$2000 < 38170 < 112000.$$

Визначаємо коефіцієнт тертя:

$$\lambda_1 = 0,11 \left(e_1 + \frac{68}{Re_1} \right)^{0,25} = 0,11 \left(0,005 + \frac{68}{38170} \right)^{0,25} = 0,032.$$

Коефіцієнти місцевих опорів:

- 1) вхід в трубу $\xi_1 = 0,5$;
- 2) вихід з труби $\xi_2 = 1,0$;
- 3) відвід під кутом 90° $\xi_3 = 0,25$.

Сумарне значення коефіцієнтів місцевих опорів:

$$\Sigma \xi_1 = \xi_1 + \xi_2 + 9\xi_3 = 0,5 + 1,0 + 9 \cdot 0,25 = 3,75.$$

Втрати в трубному просторі:

$$\Delta P_1 = \left(\lambda_1 \frac{z \cdot L}{d_b} + \Sigma \xi_1 \right) \cdot \frac{\rho_1 \cdot \omega_1^2}{2} = \left(0,032 \frac{10 \cdot 3}{0,02} + 3,75 \right) \cdot \frac{748,08 \cdot 1,282^2}{2} = 31800 \text{ Па.}$$

Підбір насосу здійснюємо за необхідним напором:

$$H_1 = \frac{\Delta P_1}{\rho_1 \cdot g} = \frac{31800}{748,08 \cdot 9,81} = 4,3 \text{ м.}$$

Об'ємні витрати:

$$Q_1 = \frac{G_1}{\rho_1} = \frac{0,198}{748,08} = 2,64 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Потужність, яка необхідна для переміщення спирту в трубному просторі:

$$N_1 = \frac{\Delta P_1 \cdot G_1}{1000 \cdot \rho_1 \cdot \eta} = \frac{31800 \cdot 0,198}{1000 \cdot 748,08 \cdot 0,8} = 0,01 \text{ кВт,}$$

де $\eta = 0,8$ – ККД насоса.

Розраховуємо гідравлічний опір для міжтрубного простору.

Відносна шорсткість:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 41 |

$$e_1 = \frac{\Delta}{d_B} = \frac{0,2}{49} = 0,004,$$

де $\Delta = 0,1$ м – абсолютна шорсткість поверхні [2].

Визначаємо, що в теплообміннику має місце зона змішаного тертя:

$$\frac{10}{e_2} < Re_2 < \frac{560}{e_2},$$

$$\frac{10}{0,004} < 10040 < \frac{560}{0,004},$$

$$2500 < 10040 < 140000.$$

Визначаємо коефіцієнт тертя:

$$\lambda_2 = 0,11 \left(e_2 + \frac{68}{Re_2} \right)^{0,25} = 0,11 \left(0,004 + \frac{68}{10040} \right)^{0,25} = 0,037.$$

Коефіцієнти місцевих опорів:

1) вхід в трубу $\xi_1 = 0,5$;

2) вихід з труби $\xi_2 = 1,0$.

Сумарне значення коефіцієнтів місцевих опорів:

$$\Sigma \xi_i = 10(\xi_1 + \xi_2) = 10(0,5 + 1,0) = 15.$$

Втрати в міжтрубному просторі:

$$\Delta P_2 = \left(\lambda_2 \frac{z \cdot L}{d_B} + \Sigma \xi_2 \right) \cdot \frac{\rho_2 \cdot \omega_2^2}{2} = \left(0,037 \frac{10 \cdot 3}{0,049} + 15 \right) \cdot \frac{998,6 \cdot 0,535^2}{2} = 5381 \text{ Па.}$$

Підбір насосу здійснюємо за необхідним напором:

$$H_2 = \frac{\Delta P_2}{\rho_2 \cdot g} = \frac{5381}{998,6 \cdot 9,81} = 0,549 \text{ м.}$$

Об'ємні витрати:

$$Q_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{0,168}{998,6} = 1,68 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Потужність, яка необхідна для переміщення спирту в трубному просторі:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 42 |

$$N_1 = \frac{\Delta P_2 \cdot G_2}{1000 \cdot \rho_2 \cdot \eta} = \frac{5381 \cdot 0,168}{1000 \cdot 998,6 \cdot 0,8} = 0,0011 \text{ кВт},$$

де $\eta = 0,8$ – ККД насоса.

Висновок: таким чином витрати тиску в трубному просторі становлять 31200 Па, а в міжтрубному – 5381 Па. Потужність, яка необхідна для переміщення спирту $N_1 = 0,01$ кВт та води $N_2 = 0,0011$ кВт. Вибираємо насос насос Х2/25 з напором 25 м, витратою $4,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$.

5.3 Перевірочний розрахунок товщини стінок труб

5.3.1 Перевірочний розрахунок товщини стінок труб для внутрішньої труби, яка навантажена робочим внутрішнім тиском

Мета розрахунку – перевірка товщини стінки внутрішньої труби, яка навантажена внутрішнім робочим тиском.

Розрахункова схема для внутрішньої труби, яка навантажена внутрішнім тиском, наведена на рисунку 5.4.

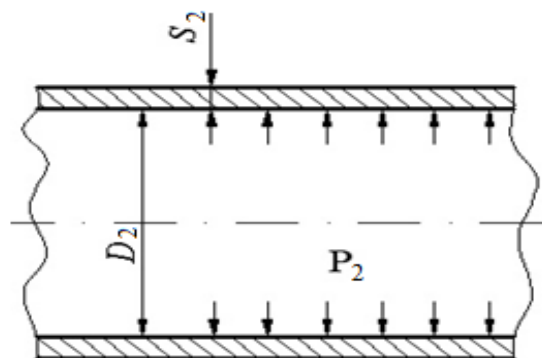


Рисунок 5.4 – Розрахункова схема внутрішньої труби

Вихідні дані:

| | |
|---|--------|
| розрахунковий тиск в середині труби, МПа, P_2 : | 0,6; |
| внутрішній діаметр центральної труби, мм, D_2 : | 20; |
| допустиме напруження матеріалу, МПа, $[\sigma]$: | 179; |
| розрахункова температура, К, T_1 : | 324,6; |

матеріал труби:

12X18H10T.

Розрахунок здійснюємо за методикою, яка викладена в [10].

Товщина стінки є стандартною та вибрана відповідно діаметру труби $S_2 = 3$ мм [9].

Допустимий внутрішній надлишковий тиск (за ГОСТ 14249-89), :

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - c)}{D_2 + S - c} = \frac{2 \cdot 179 \cdot 0,9 \cdot (3 \cdot 10^{-3} - 0,56 \cdot 10^{-3})}{0,02 + 3 \cdot 10^{-3} - 0,56 \cdot 10^{-3}} = 35,03 \text{ МПа};$$

де $\varphi = 0,9$ – коефіцієнт міцності зварного шва, тому що тут і далі шов стиковий двосторонній.

Сума додатків до розрахункової товщини:

$$c = c_1 + c_2 = 0,16 \cdot 10^{-3} + 0,4 \cdot 10^{-3} = 0,56 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

де c_1 – додаток до товщини стінки, що враховує корозійний вплив середовища на труби:

$$c_1 = v \cdot \tau = 0,016 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 0,16 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

де $v = 0,016 \cdot 10^{-3}$ м/с – швидкість корозії;

$\tau = 10$ років – час служби апарату;

$c_2 = 0,4 \cdot 10^{-3}$ м (за ГОСТ 9941-81) – додаток до товщини стінки, що враховує мінусовий допуск на виготовлення труб.

Перевірка умови міцності:

$$P_2 \leq [P];$$

$$0,6 \text{ МПа} \leq 35,03 \text{ МПа}.$$

Висновок: значення робочого тиску $P_2 = 0,6$ МПа не перевищує значення допустимого тиску $[P] = 35,03$ МПа. Умова міцності виконується, обрана товщина стінки $S = 0,003$ м забезпечує міцність апарата від навантаження внутрішнім тиском.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 44 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

5.3.2 Перевірочний розрахунок товщини стінок труб для внутрішньої труби, яка навантажена робочим зовнішнім тиском

Мета розрахунку – перевірка товщини стінки внутрішньої труби, яка навантажена зовнішнім робочим тиском.

Розрахункова схема для внутрішньої труби, яка навантажена зовнішнім тиском, наведена на рисунку 5.5.

Вихідні дані:

| | |
|---|------------|
| розрахунковий тиск ззовні труби, МПа, P_1 : | 0,5; |
| внутрішній діаметр зовнішньої труби, мм, D_2 : | 49; |
| допустиме напруження матеріалу, МПа, $[\sigma]$: | 179; |
| розрахункова температура, К, T_1 : | 324,6; |
| матеріал труби: | 12X18H10T. |

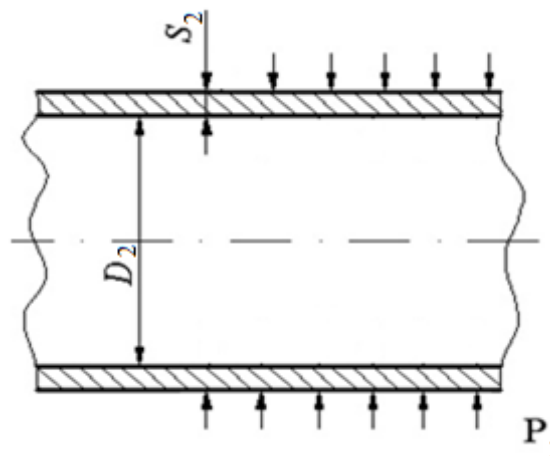


Рисунок 5.5 – Розрахункова схема внутрішньої труби

Розрахунок здійснюємо за методикою, яка викладена в [10].

Товщина стінки є стандартною та вибрана відповідно діаметру труби $S_2 = 4$ мм [9].

Допустимий тиск з умови міцності:

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - c)}{D_2 + S - c} = \frac{2 \cdot 179 \cdot 0,9 \cdot (4 \cdot 10^{-3} - 0,56 \cdot 10^{-3})}{0,049 + 4 \cdot 10^{-3} - 0,56 \cdot 10^{-3}} = 21,307 \text{ МПа.}$$

Сума додатків до розрахункової товщини:

$$c = c_1 + c_2 = 0,16 \cdot 10^{-3} + 0,4 \cdot 10^{-3} = 0,56 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

де c_1 – додаток до товщини стінки, що враховує корозійний вплив середовища на труби:

$$c_1 = v \cdot \tau = 0,016 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 0,16 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

де $v = 0,016 \cdot 10^{-3}$ м/с – швидкість корозії;

$\tau = 10$ років – час служби апарату;

$c_2 = 0,4 \cdot 10^{-3}$ м (за ГОСТ 9941-81) – додаток до товщини стінки, що враховує мінусовий допуск на виготовлення труб.

Перевірка умови міцності:

$$P_1 \leq [P];$$

$$0,5 \text{ МПа} \leq 21,307 \text{ МПа.}$$

Висновок: значення робочого тиску $P_2 = 0,5$ МПа не перевищує значення допустимого тиску $[P] = 21,307$ МПа. Умова міцності виконується, обрана товщина стінки $S = 0,004$ м забезпечує міцність апарата від навантаження зовнішнього тиском.

5.3.3 Перевірочний розрахунок товщини стінок труб для зовнішньої труби, яка навантажена внутрішнім робочим тиском.

Мета розрахунку – перевірка товщини стінки зовнішньої труби, яка навантажена внутрішнім робочим тиском.

Розрахункова схема для внутрішньої труби, яка навантажена внутрішнім тиском, наведена на рисунку 5.6.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 46 |

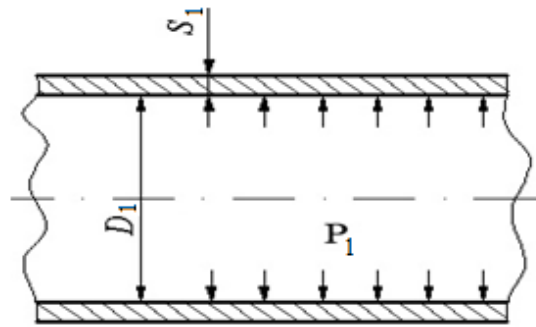


Рисунок 5.6 – Розрахункова схема зовнішньої труби

Вихідні дані:

Розрахунковий тиск всередині труби, МПа, P_1 : 0,5;
 внутрішній діаметр зовнішньої труби, мм, D_2 : 49;
 допустиме напруження матеріалу, МПа, $[\sigma]$: 179;
 розрахункова температура, К, T_1 : 324,6;
 матеріал труби: 12X18H10T.

Розрахунок здійснюємо за методикою, яка викладена в [10].

Товщина стінки є стандартною та вибрана відповідно діаметру труби $S_2 = 3$ мм [10].

Допустимий внутрішній надлишковий тиск (за ГОСТ 14249-89):

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - c)}{D_2 + S - c} = \frac{2 \cdot 179 \cdot 0,9 \cdot (3 \cdot 10^{-3} - 0,56 \cdot 10^{-3})}{0,02 + 3 \cdot 10^{-3} - 0,56 \cdot 10^{-3}} = 35,03 \text{ МПа};$$

де $\varphi = 0,9$ – коефіцієнт міцності зварного шва.

Сума додатків до розрахункової товщини:

$$c = c_1 + c_2 = 0,16 \cdot 10^{-3} + 0,4 \cdot 10^{-3} = 0,56 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

де c_1 – додаток до товщини стінки, що враховує корозійний вплив середовища на труби:

$$c_1 = v \cdot \tau = 0,016 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 0,16 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

де $v = 0,016 \cdot 10^{-3}$ м/с – швидкість корозії;

$\tau = 10$ років – час служби апарату;

$c_2 = 0,4 \cdot 10^{-3}$ м (за ГОСТ 9941-81) – додаток до товщини стінки, що враховує мінусовий допуск на виготовлення труб.

Перевірка умови міцності:

$$P_2 \leq [P];$$

$$0,6 \text{ МПа} \leq 35,03 \text{ МПа}.$$

Висновок: значення робочого тиску $P_2 = 0,6$ МПа не перевищує значення допустимого тиску $[P] = 35,03$ МПа. Умова міцності виконується, обрана товщина стінки $S = 0,003$ м забезпечує міцність апарата від навантаження внутрішнім тиском.

5.4 Розрахунок фланцевого з'єднання

Мета розрахунку – зробити перевірочний розрахунок вибраних фланців на міцність, визначити навантаження на кріпильні деталі, визначити діаметр та товщину фланця, кількість та діаметр болтів.

Схема фланцевого з'єднання представлена на рисунку 5.7.

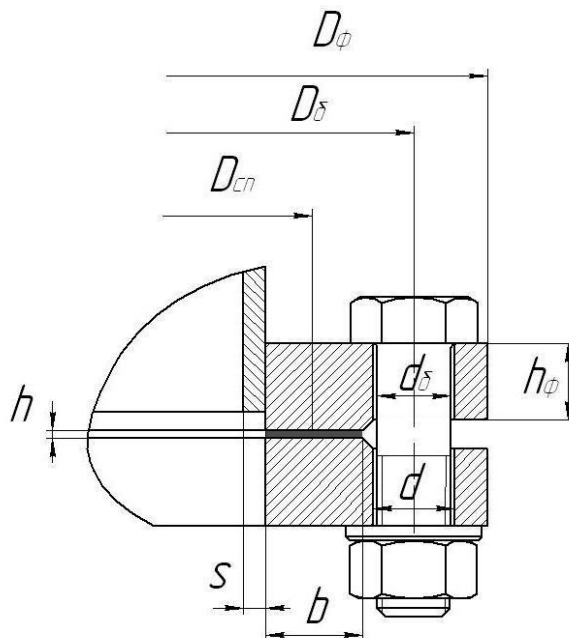


Рисунок 5.7 – Схема фланцевого з'єднання

Вихідні дані:

| | |
|---|------------|
| розрахунковий внутрішній тиск, МПа, p : | 0,6; |
| температура середовища в апараті, °С, t : | 59; |
| внутрішній діаметр фланця, м, D_v : | 0,025; |
| зовнішній діаметр фланця, м, D_ϕ : | 0,1; |
| діаметр болтового кола, м, D_6 : | 0,075; |
| кількість болтів, z_6 : | 4; |
| різьба болтів: | M10; |
| висота першого фланця, м, $h_{\phi 1}$: | 0,012; |
| висота другого фланця, м, $h_{\phi 2}$: | 0,012; |
| товщина стінки апарату, м, S : | 0,004; |
| матеріал болтів: | Сталь 40X; |
| матеріал фланців: | 18X2H4M4; |
| зовнішній діаметр прокладки, м, D_π : | 0,055; |
| ширина прокладки за таблицею 2 [7], м, b : | 0,016; |
| товщина прокладки за таблицею 2 [7], м, $S_{\text{пр}}$: | 0,002; |
| матеріал прокладки: | пароніт; |
| коефіцієнт, m : | 2,5; |
| мінімальне питоме навантаження, МПа, q : | 20; |
| максимальне питоме навантаження, МПа, $[q]$: | 130. |

Розрахунок ведеться за методикою наведеною в [11], який передбачає визначення навантажень на кріпильні деталі, обчислення напружень у кріпильних деталях і порівняння їх з допустимими, знаходження напруження в найбільш небезпечних перерізах фланців та порівняння їх з допустимими та перевірку фланців на жорсткість за умовою герметичності.

Згідно з таблицею 2 для заданих умов підходить плоский приварний фланець з плоскою ущільнювальною поверхнею за ГОСТ 12820-80.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 49 |

Визначення розрахункової температури болтів фланцевого з'єднання:

$$t_{\phi} = 0,95 \cdot t = 0,95 \cdot 59 = 56,05^{\circ}\text{C}$$

Визначення розрахункової температури фланців:

$$t_{\phi} = 0,96 \cdot t = 0,96 \cdot 59 = 56,64^{\circ}\text{C}$$

Визначення допустимих напружень матеріалу фланців та болтів при температурі монтажу та розрахунковій температурі:

допустиме напруження матеріалу першого фланця за [11]

$$\text{при } 20^{\circ}\text{C} = (293 \text{ K}), \text{ МПа, } [\sigma_{\phi}]^{20} \quad 1050;$$

допустиме напруження матеріалу першого фланця за [11]

$$\text{при } 56,64^{\circ}\text{C} = (329,64 \text{ K}), \text{ МПа, } [\sigma_{\phi}]^t \quad 1010;$$

допустиме напруження матеріалу другого фланця за [11]

$$\text{при } 20^{\circ}\text{C} = (293 \text{ K}), \text{ МПа, } [\sigma_{\phi}]^{20} \quad 1050;$$

допустиме напруження матеріалу другого фланця за [11]

$$\text{при } 56,64^{\circ}\text{C} = (329,64 \text{ K}), \text{ МПа, } [\sigma_{\phi}]^t \quad 1010;$$

допустиме напруження матеріалу болтів за [11]

$$\text{при } 20^{\circ}\text{C} = (293 \text{ K}), \text{ МПа, } [\sigma_{\text{б}}]^{20} \quad 1000;$$

допустиме напруження матеріалу болтів за [11]

$$\text{при } 56,05^{\circ}\text{C} = (329,05 \text{ K}), \text{ МПа, } [\sigma_{\text{б}}]^t \quad 980;$$

Визначення модуля пружності матеріалу фланців та болтів при розрахункових температурах:

модуль пружності матеріалу болтів за [11]

$$\text{при } 56,05^{\circ}\text{C} (329,05 \text{ K}), \text{ МПа, } E_{\phi} \quad 1,97 \cdot 10^5 ;$$

модуль пружності матеріалу першого фланця за [11]

$$\text{при } 56,64^{\circ}\text{C} = (329,64 \text{ K}), \text{ МПа, } E_{\phi 1} \quad 2 \cdot 10^5 ;$$

модуль пружності матеріалу другого фланця за [11]

$$\text{при } 56,64^{\circ}\text{C} = (329,64 \text{ K}) \text{ МПа, } E_{\phi 2} \quad 2 \cdot 10^5 ;$$

Визначення коефіцієнтів відносного лінійного розширення матеріалу фланців та болтів при розрахункових температурах:

коефіцієнт відносного лінійного розширення болтів за

таблицею 4 [11], K^{-1} , α_B^t $1,12 \cdot 10^{-5}$;

коефіцієнт відносного лінійного розширення першого фланця за

таблицею 4 [11], K^{-1} , $\alpha_{\phi 1}^t$ $1,66 \cdot 10^{-5}$;

коефіцієнт відносного лінійного розширення другого фланця за

таблицею 4 [11], K^{-1} , $\alpha_{\phi 2}^t$ $1,66 \cdot 10^{-5}$;

Попередній розрахунок геометричних параметрів фланців:

За ГОСТ 12820-80 вибираємо болти М10, тобто $d_6 = 0,010$ м.

Середній діаметр прокладки:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{п}} - b = 0,055 - 0,015 = 0,04 \text{ м.}$$

Приймаємо прокладку круглого перерізу $0,01 \times 0,002$ м з пароніту для тиску меншого за 2,5 МПа і температури не більше за $+ 500^\circ\text{C}$ (773 К).

Ефективна ширина прокладки при $b=0,015 \geq 0,015$:

$$b_E = 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 0,015 = 0,0075 \text{ м.}$$

Приймаємо за таблицею 21.9 [ГОСТ 12820-80] $Z_B = 4$ шт.

Розрахунок допоміжних величин.

Конструктивний коефіцієнт для фланців за формулою:

$$K_{\phi} = \frac{D_{\phi}}{D} = \frac{0,1}{0,025} = 4,$$

де D – внутрішній діаметр фланця, $D = 0,025$ м.

Конструктивні коефіцієнти для фланців:

$$\lambda_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{\sqrt{D \cdot S}} = \frac{0,012}{\sqrt{0,025 \cdot 0,004}} = 1,2,$$

$$\lambda_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{\sqrt{D \cdot S}} = \frac{0,012}{\sqrt{0,025 \cdot 0,004}} = 1,2$$

Поправочні коефіцієнти для фланців:

$$\psi_{1\phi} = 1,28 \cdot \lg K_{\phi} = 1,28 \cdot \lg 4 = 0,77 ,$$

$$\psi_{2\phi} = \frac{K_{\phi} + 1}{K_{\phi} - 1} = \frac{4 + 1}{4 - 1} = 1,67 .$$

Поправочний коефіцієнт для перерізу S для плоских приварних фланців:

$$\psi_{3\phi} = 1 .$$

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{S_1} = \frac{0,012}{0,004} = 3 ,$$

$$j_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{S_2} = \frac{0,016}{0,004} = 4 .$$

Безрозмірні параметри фланців:

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_{\phi}) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_{\phi}^2) \cdot (K_{\phi} - 1)} = \frac{4^2 \cdot (1 + 8,55 \lg 4) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 4^2) \cdot (4 - 1)} = 1,008 ,$$

$$\omega_{\phi 1} = \left(1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 1}^2) \right)^{-1} = \left(1 + 0,9 \cdot 1,2 (1 + 0,77 \cdot 4^2) \right)^{-1} = 0,104 ,$$

$$\omega_{\phi 2} = \left(1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 2}^2) \right)^{-1} = \left(1 + 0,9 \cdot 1,2 (1 + 0,77 \cdot 4^2) \right)^{-1} = 0,104 .$$

Кутова піддатливість фланців:

$$y_{\phi 1} = \frac{(1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})) \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 1}^3 \cdot E_{\phi 1}} = \frac{(1 - 0,104 \cdot (1 + 0,9 \cdot 1,2)) \cdot 1,67}{0,012^3 \cdot 1,97 \cdot 10^5} = 3,847 \text{ 1/(МН} \cdot \text{м)}$$

$$y_{\phi 2} = \frac{(1 - \omega_{\phi 2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2})) \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 2}^3 \cdot E_{\phi 2}} = \frac{(1 - 0,104 \cdot (1 + 0,9 \cdot 1,2)) \cdot 1,67}{0,012^3 \cdot 1,97 \cdot 10^5} = 3,847 \text{ 1/(МН} \cdot \text{м)} .$$

Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання:

$$L_{\text{б}} = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + s_{\text{пр}} + 0,28d_{\text{б}} = 0,012 + 0,012 + 0,002 + 0,28 \cdot 0,01 = 0,054 \text{ м} .$$

Лінійна піддатливість неметалевої прокладки:

$$y_n = \frac{s_{\text{пр}}}{\pi \cdot D_{\text{с.п.}} \cdot b \cdot E_n} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 0,04 \cdot 0,015 \cdot 200} = 5,3 \cdot 10^{-3} \text{ м/МН} .$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 52 |

Площа поперечного перерізу болта:

$$f_b = 0,785 \cdot d_0^2 = 0,785 \cdot 0,008376^2 = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

де $d_0 = 0,008376$ м – внутрішній діаметр різьби болта.

Лінійна піддатливість болтів:

$$y_b = \frac{L_b}{E_b \cdot f_b \cdot z_b} = \frac{0,054}{1,97 \cdot 10^5 \cdot 5,5 \cdot 10^{-5} \cdot 4} = 1,245 \cdot 10^{-4} \text{ м/МН}.$$

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$A_\phi = \left(y_n + y_b + 0,25 \cdot (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot (D_b - D_{cn})^2 \right)^{-1} = \\ = \left(5,3 \cdot 10^{-3} + 1,245 \cdot 10^{-3} + 0,25(3,847 + 3,847)(0,075 - 0,04)^2 \right)^{-1} = 423,012.$$

Параметри жорсткості фланців:

$$B_{\phi 1} = y_{\phi 1} \cdot (D_b - D - S_1) = 3,847 \cdot (0,075 - 0,025 - 0,004) = 0,1769 \text{ 1/МН},$$

$$B_{\phi 2} = y_{\phi 2} \cdot (D_b - D - S_2) = 3,847 \cdot (0,075 - 0,025 - 0,004) = 0,1769 \text{ 1/МН}.$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma = A_\phi \cdot y_b = 423,012 \cdot 1,245 \cdot 10^{-3} = 0,526.$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_\phi = A_\phi \cdot \left(y_b + 0,25(B_{\phi 1} + B_{\phi 2})(D_b - D_{cn}) \right) = 423,012 \cdot (1,245 \cdot 10^{-3} + \\ + 0,25(0,1769 + 0,1769)(0,075 - 0,04)) = 1,836.$$

Розрахунок болтів фланцевого з'єднання.

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q_g = 0,785 \cdot D_{cn}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 0,04^2 \cdot 0,6 = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ МН}.$$

Реакція прокладок в робочих умовах:

$$R_n = 2 \cdot \pi \cdot D_{cn} \cdot b_E \cdot m \cdot p = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,04 \cdot 0,0075 \cdot 2,5 \cdot 0,6 = 4,71 \cdot 10^{-3} \text{ МН}.$$

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання:

$$Q_{t\phi} = 0 \text{ МН},$$

$$\text{оскільки } \gamma \cdot z_\phi \cdot f_\phi \cdot E_\phi \cdot (\alpha_\phi^t \cdot t_\phi - \alpha_\phi^t \cdot t_\phi) = -6,745 \cdot 10^{-3} < 0,$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 53 |

де:

$$\alpha_{\phi}^t = \frac{\alpha_{\phi 1}^t + \alpha_{\phi 2}^t}{2} = \frac{(1,66 + 1,66) \cdot 10^{-5}}{2} = 1,66 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}.$$

Монтажні болтові навантаження фланцевого з'єднання:

$$P'_{Б1} = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot q = 3,14 \cdot 0,04 \cdot 0,0075 \cdot 20 = 0,018 \text{ МН},$$

$$P''_{Б1} = \alpha_{\phi} \cdot Q_g + R_n = 1,836 \cdot (0,75 \cdot 10^{-3} + 0,09) + 4,71 \cdot 10^{-3} = 0,17 \text{ МН},$$

$$P'''_{Б1} = 0,4 \cdot [\sigma_B]^{20} \cdot z_B \cdot f_B = 0,4 \cdot 1050 \cdot 4 \cdot 5,5 \cdot 10^{-5} = 0,09 \text{ МН}.$$

Розрахункове монтажне болтове навантаження при $P \leq 0,6 \text{ МПа}$:

$$P_{Б1} = \max \{P'_{Б1}, P''_{Б1}, P'''_{Б1}\} = \max \{0,018; 0,17; 0,09\} = 0,17 \text{ МН}.$$

Умова міцності для неметалевої прокладки за формулою:

$$\frac{P_{Б1}}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b} \leq [q],$$

$$\frac{0,17}{3,14 \cdot 0,04 \cdot 0,015} = 90,23 \leq 130.$$

Умова міцності виконується.

Болтове навантаження за робочих умов, МН:

$$P_{Б2} = P_{Б1} + (1 - \alpha_{\phi}) Q_g + Q_{\text{тф}} = 0,17 + (1 - 1,836) \cdot 0,75 \cdot 10^{-3} + 0 = 0,094 \text{ МН}.$$

Розрахункове навантаження на болти:

$$P_{Б\phi} = \max \{P_{Б1}, P_{Б2}\} = \max \{0,17; 0,094\} = 0,17 \text{ МН}.$$

Напруження розтягування болтів за умов монтажу:

$$\sigma_B^{20} = \frac{P_{Б1}}{z_B \cdot f_B} = \frac{0,17}{4 \cdot 5,5 \cdot 10^{-5}} = 702,72 \text{ МПа}.$$

Напруження розтягування болтів за робочих умов:

$$\sigma_B^t = \frac{P_{Б2}}{z_B \cdot f_B} = \frac{0,094}{4 \cdot 5,5 \cdot 10^{-5}} = 427 \text{ МПа}.$$

Скручуючий момент, що виникає при затягуванні гайок:

$$M_{\text{скр}} = f_1 \frac{P_{Б\phi}}{z_B} d_B = 0,1 \cdot \frac{0,17}{4} \cdot 0,01 = 4,25 \cdot 10^{-5} \text{ МН} \cdot \text{м},$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 54 |

Де $f_1 = 0,1$ – коефіцієнт тертя.

Дотичне напруження в болтах:

$$\tau_B = \frac{M_{\text{скр}}}{0,2 \cdot d_0^3} = \frac{4,25 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,0083^3} = 221,6 \text{ МПа.}$$

Еквівалентні напруження в болтах:

$$\sigma_{BE}^{20} = \sqrt{(\sigma_B^{20})^2 + 3 \cdot \tau_B^2} = \sqrt{702,7^2 + 3 \cdot 221,6^2} = 967,3 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{BE}^t = \sqrt{(\sigma_B^t)^2 + 3 \cdot \tau_B^2} = \sqrt{427^2 + 3 \cdot 221,6^2} = 790,1 \text{ МПа.}$$

Умови міцності:

$$\sigma_{BE}^{20} \leq [\sigma_B]^{20},$$

$$967,3 \leq 1000,$$

$$\sigma_{BE}^t \leq [\sigma_B]^t,$$

$$790,1 \leq 980.$$

Умови міцності виконуються.

Розрахунок фланців на міцність

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за умов монтажу:

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot P_{B1} (D_B - D_{cn}) = 0,5 \cdot 0,17 \cdot (0,075 - 0,04) = 2,55 \cdot 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за робочих умов:

$$M_{02\phi} = 0,5 \cdot \left(P_{B2} (D_B - D_{cn}) + Q_g (D_{cn} - D - S_0) \right) \frac{[\sigma_\phi]^{20}}{[\sigma_\phi]^t} = ,$$
$$= 0,5 \left(0,09 (0,075 - 0,04) + 0,75 \cdot 10^{-3} (0,075 - 0,04 - 0,004) \right) \frac{1050}{1010} = 2,209 \cdot 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м,}$$

де:

$$\frac{[\sigma_\phi]^{20}}{[\sigma_\phi]^t} = \max \left(\frac{[\sigma_{\phi 1}]^{20}}{[\sigma_{\phi 1}]^t}; \frac{[\sigma_{\phi 2}]^{20}}{[\sigma_{\phi 2}]^t} \right) = \max \left(\frac{1050}{1010}; \frac{1050}{1010} \right) = \frac{1050}{1010}.$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 55 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Розрахунковий приведений згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця:

$$M_{\text{оф}} = \max \{ M_{\text{о1ф}}; M_{\text{о2ф}} \} = \max \{ 2,55 \cdot 10^{-3}; 2,209 \cdot 10^{-3} \} = 2,55 \cdot 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Максимальні напруження в перерізі фланців від дії згинаючого моменту:

$$\sigma_{\text{оф1}} = \psi_3 \cdot \frac{T'_{\text{ф}} \cdot M_{\text{оф}} \cdot \omega_{\text{ф1}}}{D_1 \cdot (S_1 - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,008 \cdot 2,55 \cdot 10^{-3} \cdot 0,104}{0,025 \cdot (0,004 - 0,00056)^2} = 903,6 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{\text{оф2}} = \psi_3 \cdot \frac{T'_{\text{ф}} \cdot M_{\text{оф}} \cdot \omega_{\text{ф2}}}{D_2 \cdot (S_2 - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,008 \cdot 2,55 \cdot 10^{-3} \cdot 0,104}{0,025 \cdot (0,004 - 0,00056)^2} = 903,6 \text{ МПа.}$$

Кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту:

$$\sigma_{\text{кф1}} = \frac{M_{\text{оф}} (1 - \omega_{\text{ф1}} (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\text{ф1}})) \psi_{2\text{ф}}}{D_1 \cdot h_{\text{ф1}}^2} = \frac{2,55 \cdot 10^{-3} (1 - 0,104 (1 + 0,9 \cdot 1,2)) \cdot 1,67}{0,025 \cdot 0,012^2} = 927 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{\text{кф2}} = \frac{M_{\text{оф}} (1 - \omega_{\text{ф2}} (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\text{ф2}})) \psi_{2\text{ф}}}{D \cdot h_{\text{ф2}}^2} = \frac{2,55 \cdot 10^{-3} (1 - 0,104 (1 + 0,9 \cdot 1,2)) \cdot 1,67}{0,025 \cdot 0,012^2} = 927 \text{ МПа.}$$

Кільцеве і меридіальне напруження у втулці фланця від дії внутрішнього тиску:

$$\sigma_{\text{хф1}} = \sigma_{\text{хф2}} = \frac{P \cdot D_1}{2 \cdot (S_1 - C)} = \frac{0,6 \cdot 0,025}{2 \cdot (0,004 - 0,00056)} = 2,18 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{\text{уф1}} = \sigma_{\text{уф2}} = \frac{P \cdot D_1}{4 \cdot (S_1 - C)} = \frac{0,6 \cdot 0,025}{4 \cdot (0,004 - 0,00056)} = 1,09 \text{ МПа.}$$

Еквівалентні напруження в перерізі втулки фланця:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{Еф1}} &= \sqrt{(\sigma_{\text{оф1}} + \sigma_{\text{уф1}})^2 + \sigma_{\text{хф1}}^2 - (\sigma_{\text{оф1}} + \sigma_{\text{уф1}}) \cdot \sigma_{\text{хф1}}} = \\ &= \sqrt{(903,6 + 1,09)^2 + 2,18^2 - (903,6 + 1,09) \cdot 2,18} = 903,6 \text{ МПа,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{Еф2}} &= \sqrt{(\sigma_{\text{оф2}} + \sigma_{\text{уф2}})^2 + \sigma_{\text{хф2}}^2 - (\sigma_{\text{оф2}} + \sigma_{\text{уф2}}) \cdot \sigma_{\text{хф2}}} = \\ &= \sqrt{(903,6 + 1,09)^2 + 2,18^2 - (903,6 + 1,09) \cdot 2,18} = 903,6 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Перевіряємо умови міцності:

$$\sigma_{\text{Еф1}} \leq [\sigma_{\text{ф1}}] \varphi ,$$

$$\sigma_{\text{Еф2}} \leq [\sigma_{\text{ф2}}] \varphi ,$$

$$903,6 \leq 1050 \cdot 0,9 = 945,$$

$$903,6 \leq 1050 \cdot 0,9 = 945.$$

Умови міцності виконуються.

Перевіряємо виконання умов герметичності за формулою:

$$\frac{\sigma_{\text{кф1}} \cdot D_1}{h_{\text{ф1}} \cdot E_{\text{ф1}}} = \frac{927 \cdot 0,025}{0,012 \cdot 1,97 \cdot 10^5} = 0,0089 \leq [\theta] = 0,009 ,$$

$$\frac{\sigma_{\text{кф2}} \cdot D}{h_{\text{ф2}} \cdot E_{\text{ф2}}} = \frac{927 \cdot 0,025}{0,012 \cdot 1,97 \cdot 10^5} = 0,0089 \leq [\theta] = 0,009 ,$$

де при $D \leq 2 \text{ м}$ $[\theta] = 0,009$ рад.

Умови герметичності виконуються.

Висновок: діючі напруження в фланцевому з'єднанні не перевищують допустимі напруження матеріалу фланців.

Приймаємо стандартні фланці за ГОСТ 12820-80:

| | |
|---|--------|
| зовнішній діаметр, м, $D_{\text{ф}}$ | 0,100; |
| діаметр болтового кола, м, $D_{\text{б}}$ | 0,075; |
| товщина фланця, м, $h_{\text{ф1}}$ | 0,012; |
| товщина фланця, м, $h_{\text{ф2}}$ | 0,012; |
| кількість болтів, шт., $Z_{\text{б}}$ | 4; |
| діаметр болтів, м, $d_{\text{б}}$ | 0,010. |

5.5 Розрахунок опор на міцність

Метою розрахунку є перевірочний розрахунок опори на міцність, визначення навантажень, які діють на опору.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 57 |

Розрахункова схема опор зображена на рисунку 5.8 [12].

Для встановлення теплообмінних апаратів типу «труба в трубі» на робочому місці застосовують етажерні опори. Опора для даного теплообмінника представляє собою зварну жорстку конструкцію з профільного сортаменту: кутиків як підтримуючої опори та швелерів як несучої опори.

Для того, щоб вибрати необхідний номер профілю, потрібно розрахувати масу всього апарату.

Визначимо масу одного елементу. Для цього визначаємо об'єм рідини, що знаходиться в трубах та об'єм матеріалу, що містить конструкція даного елементу.

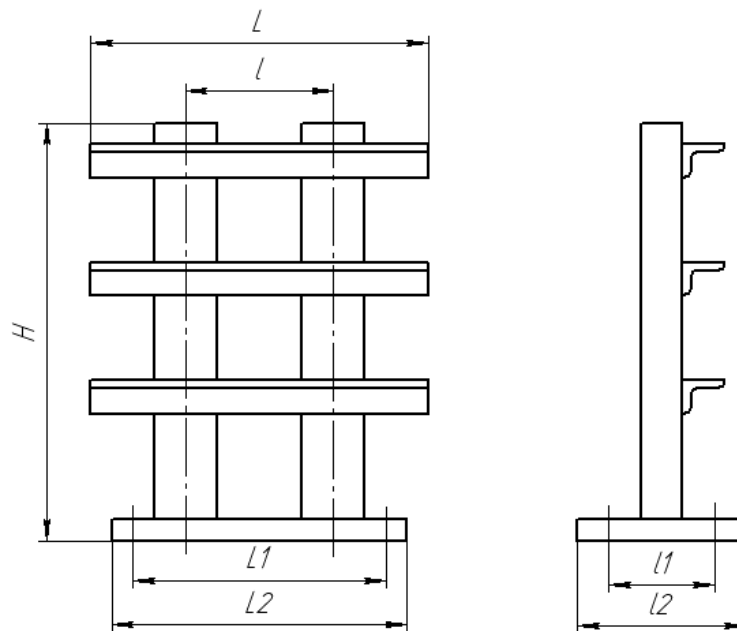


Рисунок 5.8 – Схема опори

Для внутрішньої труби:

$$V_{\text{вн}}^{\text{рід}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{вн}}^2 \cdot H}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,02^2 \cdot 3,1}{4} = 0,97 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

де $D_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр внутрішньої труби теплообмінника, м;

H – довжина труби, м.

$$V_{\text{вн}}^{\text{ст}} = \pi \cdot (D_{\text{зов}} - S) \cdot S \cdot H = 3,14 \cdot (0,025 - 0,004) \cdot 0,004 \cdot 3,1 = 0,81 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

де $D_{\text{зов}}$ – зовнішній діаметр внутрішньої труби теплообмінника, м;

S – товщина стінки внутрішньої труби, м.

Тоді маса внутрішньої труби теплообмінника:

$$m_{\text{вн.тр.}} = m_{\text{вн}}^{\text{рід}} + m_{\text{вн}}^{\text{ст}} + 2 \cdot m_{\text{ф1}} = 0,72 + 6,42 + 2 \cdot 0,53 = 8,2 \text{ кг},$$

де $m_{\text{вн}}^{\text{рід}} = V_{\text{вн}}^{\text{рід}} \cdot \rho_1 = 0,97 \cdot 10^{-3} \cdot 748,08 = 0,72 \text{ кг}$ – маса рідини, що знаходиться в трубі,

$m_{\text{вн}}^{\text{ст}} = V_{\text{вн}}^{\text{ст}} \cdot \rho_{\text{ст}} = 0,81 \cdot 10^{-3} \cdot 7920 = 6,42 \text{ кг}$ – маса сталі, з якої виготовлена труба,

$m_{\text{ф1}} = 0,53 \text{ кг}$ – маса фланця який приварений на внутрішній трубі,

де $\rho_{\text{ст}} = 7920 \text{ кг/м}^3$ – густина сталі 12Х18Н10Т.

Для зовнішньої труби:

$$V_{\text{зов}}^{\text{рід}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{екв}}^2 \cdot H}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,024^2 \cdot 3}{4} = 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

де $D_{\text{екв}} = D_{\text{зов}} - D_{\text{вн}} = 0,049 - 0,025 = 0,024 \text{ м};$

H – довжина труби, м.

$$V_{\text{зов}}^{\text{ст}} = \pi \cdot (D_{\text{зов}} - S) \cdot S \cdot H = 3,14 \cdot (0,057 - 0,004) \cdot 0,004 \cdot 3 = 1,99 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

де $D_{\text{зов}}$ – зовнішній діаметр зовнішньої труби теплообмінника, м;

S – товщина стінки зовнішньої труби, м.

Тоді маса зовнішньої труби теплообмінника:

$$m_{\text{зов.тр.}} = m_{\text{зов}}^{\text{рід}} + m_{\text{зов}}^{\text{ст}} = 1,35 + 15,76 = 17,11 \text{ кг},$$

де $m_{\text{зов}}^{\text{рід}} = V_{\text{зов}}^{\text{рід}} \cdot \rho_2 = 1,35 \cdot 10^{-3} \cdot 998,6 = 1,35 \text{ кг}$ – маса рідини, що знаходиться в трубі;

$m_{\text{зов}}^{\text{ст}} = V_{\text{зов}}^{\text{ст}} \cdot \rho_{\text{ст}} = 1,99 \cdot 10^{-3} \cdot 7920 = 15,76 \text{ кг}$ – маса сталі, з якої виготовлена труба.

Для патрубку, який приварений на зовнішній трубі:

$$V_{\text{пат}}^{\text{рід}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{вн}}^2 \cdot H}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,04^2 \cdot 0,093}{4} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3,$$

де $D_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр патрубка, м;

H – довжина патрубка, м.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 59 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$V_{\text{пат}}^{\text{ст}} = \pi \cdot (D_{\text{зов}} - S) \cdot S \cdot H = 3,14 \cdot (0,048 - 0,004) \cdot 0,004 \cdot 0,093 = 5,14 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3,$$

де $D_{\text{зов}}$ – зовнішній діаметр патрубку, м;

S – товщина стінки патрубку, м.

Тоді маса патрубку:

$$m_{\text{пат}} = m_{\text{пат}}^{\text{рід}} + m_{\text{пат}}^{\text{ст}} + m_{\text{ф2}} = 0,12 + 0,41 + 1,21 = 1,74 \text{ кг},$$

де $m_{\text{пат}}^{\text{рід}} = V_{\text{пат}}^{\text{рід}} \cdot \rho_2 = 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot 998,6 = 0,12 \text{ кг}$ – маса рідини, що знаходиться в патрубку,

$m_{\text{пат}}^{\text{ст}} = V_{\text{пат}}^{\text{ст}} \cdot \rho_{\text{ст}} = 5,14 \cdot 10^{-5} \cdot 7920 = 0,41 \text{ кг}$ – маса сталі, з якої виготовлений патрубок,

$m_{\text{ф2}} = 1,21 \text{ кг}$ – маса фланця який приварений на патрубок,

де $\rho_{\text{ст}} = 7920 \text{ кг/м}^3$ – густина сталі 12Х18Н10Т.

Маса одного елементу теплообмінника:

$$m_{\text{ел}} = m_{\text{вн.тр.}} + m_{\text{зов.тр.}} + 2 \cdot m_{\text{пат}} = 8,2 + 17,1 + 2 \cdot 1,74 = 28,79 \text{ кг}.$$

Необхідно визначити масу повороту, що з'єднує елементи між собою. Об'єм рідини, що знаходиться в повороті під час роботи:

$$V_{\text{п}}^{\text{рід}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{вн}}^2 \cdot H}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,02^2 \cdot 0,192}{4} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

де $D_{\text{к}}$ – внутрішній діаметр труби повороту теплообмінника, м;

H – довжина труби повороту, м.

$$V_{\text{п}}^{\text{ст}} = \pi \cdot (D_{\text{зовп}} - S_{\text{п}}) \cdot S_{\text{п}} \cdot H = 3,14 \cdot (0,025 - 0,004) \cdot 0,004 \cdot 0,192 = 0,048 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

де $D_{\text{зовп}}$ – зовнішній діаметр труби повороту теплообмінника, м;

$S_{\text{п}}$ – товщина стінки повороту, м.

Тоді маса повороту:

$$m_{\text{п}} = m_{\text{п}}^{\text{рід}} + m_{\text{п}}^{\text{ст}} + 2 \cdot m_{\text{ф1}} = 2,2 + 0,38 + 2 \cdot 0,53 = 3,64 \text{ кг},$$

де $m_{\text{п}}^{\text{рід}} = V_{\text{п}}^{\text{рід}} \cdot \rho_1 = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 748,08 = 2,2 \text{ кг}$ – маса рідини, що знаходиться в повороті,

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 60 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$m_k^{ст} = V_k^{ст} \cdot \rho_{ст} = 0,048 \cdot 10^{-3} \cdot 7920 = 0,38 \text{ кг} - \text{маса сталі, з якої виготовлена}$$

труба,

$$m_{ф1} = 0,53 \text{ кг} - \text{маса фланця, який приварений до повороту,}$$

$$\text{де } \rho_{ст} = 7920 \text{ кг/м}^3 - \text{густина сталі 12X18H10T.}$$

Необхідно підібрати потрібний розмір профілю опорної балки.
Розрахункова схема навантаження зображена на рисунку 5.9.

На одну опору діє навантаження $P = \frac{m_{ел} \cdot g}{2} = \frac{28,79 \cdot 9,81}{2} = 141,21 \text{ Н}$,
оскільки кожна труба розміщена на двох опорних балках.

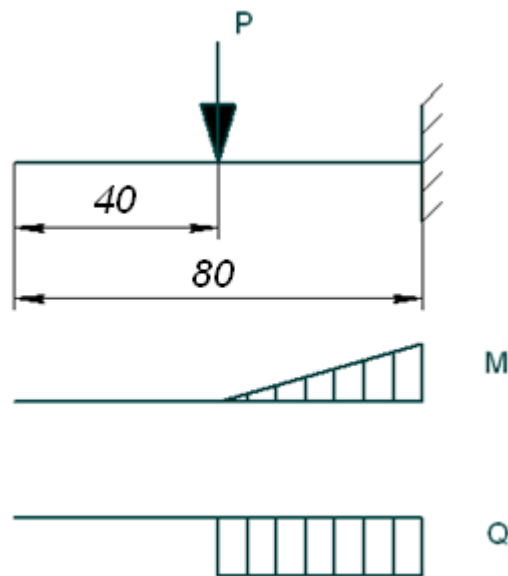


Рисунок 5.9 – Схема навантаження опори.

Максимальний вигинаючий момент:

$$M_{\max} = \frac{P \cdot l}{2} = \frac{141,21 \cdot 0,8}{2} = 56,48 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Умова міцності:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} \leq [\sigma] = 160 \text{ МПа.}$$

Звідси величина моменту опору:

$$W_{\text{розрах}} = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\max}} = \frac{56,48}{160 \cdot 10^6} = 0,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Із таблиці сортаменту кутиків вибираємо профіль кутика, який задовольняє

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 61 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

розрахункове значення моменту опору W .

Отримуємо:

Кутик № 2

Основні розміри $20 \times 20 \times 4$.

$W = 0,37 \text{ см}^3$; $F = 1,46 \text{ см}^2$; $m = 1,15 \text{ кг}$ – маса профілю за 1 погонний метр.

Для того, щоб розрахувати масу всієї конструкції, що здійснює навантаження на нижній переріз швелерів, задаємо номер профілю керуючись конструктивними міркуваннями. Приймаємо швелер № 6,5 П: $m = 5,9 \text{ кг}$ за 1 погонний метр, площа перерізу $F = 7,51 \text{ см}^2$.

Тоді маса балки довжиною 2,45 м:

$$m_{\text{шв}} = 2,45 \cdot m = 2,45 \cdot 5,9 = 14,45 \text{ кг.}$$

Маса 20 балок кутового профілю довжиною 0,4 м :

$$m_{\text{кут}} = 20 \cdot m = 20 \cdot 0,4 \cdot 1,15 = 9,2 \text{ кг.}$$

Маса 24 елементів теплообмінника «труба в трубі»:

$$m_{\text{ап}} = 10 \cdot m_{\text{ел}} = 10 \cdot 28,79 = 287,9 \text{ кг.}$$

Маса 9 поворотів, що з'єднують теплообмінні елементи:

$$m_{\text{пзг}} = 9 \cdot m_{\text{п}} = 9 \cdot 3,64 = 32,76 \text{ кг.}$$

Тоді маса всієї конструкції:

$$m_{\text{конс}} = m_{\text{ап}} + m_{\text{кут}} + m_{\text{шв}} + m_{\text{пзг}} = 287,9 + 9,2 + 14,45 + 32,76 = 344,31 \text{ кг.}$$

Зусилля, що діє на одну опору:

$$P = m_{\text{конст}} \cdot g = 344,31 \cdot 9,81 = 3377,68 \text{ Н.}$$

Умова міцності:

$$\sigma = \frac{P}{F} \leq [\sigma] = 160 \text{ МПа;}$$

$$\frac{P}{F} = \frac{3377,68}{7,51 \cdot 10^{-4}} = 4490000 \text{ Па} = 4,49 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 160 \text{ МПа.}$$

Висновок: умова міцності виконується, отже приймаємо швелер №6,5.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 62 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апарата

Під час монтажу теплообмінник підіймають за допомогою вантажопідйомних пристроїв за профіль кутиків, що розташовані на опорах.

Вантажопідйомність крана на необхідному для монтажу вильоті крюка повинна бути більшою за масу апарата. Теплообмінник кріпиться на фундамент в горизонтальному положенні. Після кріплення проводять перевірку відхилень від осей та відміток в горизонтальному та вертикальному напрямках. Відхилення не повинні перевищувати 20 мм від головних осей, від вертикалі – в межах 3 мм на 1 м висоти, але не більше 35 мм на весь апарат. Після встановлення апарату проводиться перевірка правильності встановлення.

Під час виконання монтажу частин апарату перевіряють розташування фланцевих з'єднань та їх відхилення від проектних відміток. Також необхідно перевірити, щоб під час виконання монтажу співпадали всі роз'ємні з'єднання та з'єднання трубопроводів.

До складально-монтажних робіт відносять такі операції як:

- контроль всіх частин апарату;
- монтаж тримачів для встановлення трубопроводів;
- монтаж автоматичних елементів трубопроводів.

В теплообмінних апаратах типу «труба в трубі» опорний каркас кріплять жорстко до обох опор.

Після закінчення монтажних робіт апарат піддається випробуванню. Спочатку проводять підготовчі роботи, пов'язані з оглядом апарату. При цьому особливу увагу необхідно звернути на присутність деталей, які забезпечують герметичність системи.

В програму випробувань входить гідравлічне та пневматичне випробування апарату разом з трубопроводами на тиск, який вказаний на кресленні, перевірка щільності всіх роз'ємних з'єднань.

При випробуваннях виявляють герметичність та надійність роботи вентилів, кранів, клапанів та іншої арматури.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 63 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Підготовка апарата до експлуатації включає перевірку витрат теплоносіїв, температур теплоносіїв на вході та на виході з апарату, тиск всередині апарата та в трубопроводі.

Результати випробувань виявляють дефекти та недоліки, які заносять в акт випробувань на конкретно взятий апарат.

При виготовленні апарата особливу увагу необхідно приділяти зварним з'єднанням, які повинні відповідати ОСТ 26-291-87 "Сосуды и аппараты стальные сварные общие технические условия".

При монтажі слід з'єднувати теплообмінні елементи один з одним штуцерами, потім їх внутрішні труби калачами. Ця послідовність дій дає змогу виключити можливість перекосу фланцевих з'єднань та їх розгерметизації.

При експлуатації особливу увагу треба приділяти температурному режиму. Якщо є порушення, то виникають надмірні температурні напружень, які можуть призвести до механічного руйнування конструкції. З метою забезпечення надійної роботи теплообмінника слід притримувати його технічним обслуговуванням та ремонтом.

У випадку зупинки установки необхідно припинити подачу спирту, а потім відключити від живлення. Вивантаження апарата та його промивку необхідно проводити за інструкцією. При зупинці на тривалий термін апарат потрібно обов'язково розвантажити.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 64 |

7 Рівень стандартизації та уніфікації

Застосування стандартних та уніфікованих деталей сприяє скорочення витрат матеріалів, зменшує витрати пов'язані підготовкою виробництва, збільшенню продуктивності виробництва. Для стандартних деталей не потрібно проектувати спеціальну оснастку. Під рівнем стандартизації та уніфікації виробу розуміється насичення їх відповідно стандартизованими та уніфікованими деталями. Рівень стандартизації та уніфікації оцінюється коефіцієнтами стандартизації та уніфікації.

Коефіцієнт стандартизації визначаємо із залежності [8]:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{1148}{1390} = 0,83,$$

де n_c – кількість стандартних деталей в апараті, $n_c = 1148$;

N – загальна кількість деталей в апараті, $N = 1390$.

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності [8]:

$$K_y = \frac{n_c + n_z}{N} = \frac{1148 + 12}{1390} = 0,84$$

де n_z – кількість уніфікованих деталей в апараті, $n_z = 12$.

Висновок: у результаті розрахунку встановлено, що коефіцієнт стандартизації $K_c = 0,83$, коефіцієнт уніфікації $K_y = 0,84$. Невисокі коефіцієнти можна пояснити тим, що багато деталей та вузлів виробу виготовляється безпосередньо на підприємстві.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 65 |

8 Техніко-економічне обґрунтування модернізації

8.1 Техніко-економічне обґрунтування доцільності вдосконалення

Теплообмінні апарати широко використовуються у всіх існуючих галузях промисловості. Даний теплообмінник «труба в трубі» використовується для охолодження етилового спирту.

Вдосконалення полягає в тому, що з'єднання внутрішніх труб відбувається за рахунок тангенційних патрубків з горизонтальними фланцями. Нове виконання фланців тангенційних патрубків дає змогу зменшити кількість фланцевих з'єднань зазначених патрубків з внутрішніми трубами з двох до одного, що зменшує їх матеріалоємність, а отже й теплообмінника в цілому. Крім того, таке виконання фланців спрощує складання й розбирання теплообмінника.

Таблиця 8.1 – Техніко-економічні показники теплообмінного апарата

| Найменування показників | Одиниця виміру | Апарат до модернізації | Апарат після модернізації |
|---|----------------|------------------------|---------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Продуктивність | кг/с | 0,198 | 0,198 |
| Основний матеріал | — | 12X18Н10Т | 12X18Н10Т |
| Висота апарата | мм | 2800 | 2800 |
| Маса апарата | кг | 350 | 324,15 |
| Тривалість ремонтного циклу | Рік | 1,5 | 2 |
| Клас небезпечності за ГОСТ 12.1.007-76 | — | До 2 кл | До 2 кл. |
| Пожежонебезпека за ГОСТ 12.1.004-91 | — | пожежонебезпечне | пожежонебезпечне |
| Категорія вибухонебезпечності за ГОСТ Р 513305-99 | — | В | В |

| | | | |
|--|----------|--------|--------|
| Коефіцієнт стандартизації і уніфікації | % | 85; 90 | 83; 84 |
| Ринкова ціна нового аналогічного устаткування | тис. грн | — | 120 |
| Балансова (первісна) вартість устаткування | тис. грн | 110 | — |
| Залишкова вартість устаткування, яке підлягає модернізації | тис. грн | 0 | — |

8.2 Розрахунки витрат на проведення проектно-конструкторських робіт по вдосконаленню теплообмінника

Вдосконаленням апарата розраховуємо у відповідності зі ступенем складності та обсягів проектно-конструкторської документації, яку необхідно розробити на етапи конструкторської підготовки. Модернізація діючого устаткування означає його вдосконалення з метою попередження або усунення фізичного зносу, техніко-економічного старіння та підвищення його технічних параметрів до рівня сучасних вимог.

Економічно доцільно здійснювати модернізацію устаткування під час проведення його капітального ремонту. Зазвичай вдосконалення устаткування хімічної, нафтопереробної та целюлозно-паперової галузей промисловості забезпечує збільшення його продуктивності на 10-18%, а здійснені згідно з нею витрати не перевищують половини вартості нових знарядь виробництва аналогічного призначення.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 67 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Розрахунки ефективності на проведення модернізації устаткування полягають у визначенні коефіцієнта ефективності витрат, який розраховується за формулою [13]:

$$n_{pi} = 1 - \frac{M_i + S_{ei}}{K_{Hi} + \alpha\beta + S_{\alpha i}},$$

де M_i – сукупні витрати на проведення модернізації устаткування, грн.; (поточних);

S_{ei} – перевищення експлуатаційних витрат модернізованого устаткування порівняно з новим аналогічним устаткуванням, грн;

K_{Hi} – оптова ціна придбання нового аналогічного устаткування, грн.

α – коефіцієнт співвідношення продуктивності модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування;

β – коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування;

$S_{\alpha i}$ – втрати від недоамортизації устаткування, яке підлягає модернізації.

Величина сукупних витрат на модернізацію устаткування може бути розрахована по формулі:

$$M_i = \Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}} \cdot K_i = 110000 \cdot 0,06 = 6600 \text{ грн},$$

де $\Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}}$ – первісна (відновлена) вартість устаткування, яке підлягає модернізації, згідно даних підприємств, де експлуатується аналогічне обладнання, первісна вартість теплообмінника $\Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}} = 110$ тис. грн.;

K_i – коефіцієнт витрат, величина якого залежить від виду і типу устаткування, яке підлягає модернізації, в даному випадку $K_i = 0,06$ – для теплообмінних апаратів.

Модернізоване устаткування у процесі подальшої експлуатації, як правило, вимагає більш високих експлуатаційних (поточних) витрат у порівнянні з аналогічним новим устаткуванням.

| | | | | | | |
|------|------|-----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 68 |
| Змн. | Арк. | № док.ум. | Підпис | Дата | | |

Експлуатаційні (поточні) витрати при роботі устаткування складаються з таких витрат:

- витрати паливно-мастильних матеріалів;
- витрати на придбання та виготовлення необхідних запасних частин;
- витрат на оплату праці ремонтного персоналу;
- інші поточні експлуатаційні витрати.

З достатнім для розрахунків ступенем точності, який базується на практичних даних підприємств хімічного машинобудування, величина перевищення експлуатаційних (поточних) витрат по модернізованому устаткуванню порівняно з новим аналогічним устаткуванням S_{ei} може бути розрахована по формулі:

$$S_{ei} = q_{b_i} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{МОД}} - q_{b_n} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{НОВ}} = 0,12 \cdot 110000 - 0,10 \cdot 120000 = 1300 \text{ грн},$$

де q_{b_i} – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат устаткування, яке підлягає модернізації, в даному випадку $q_{b_i} = 0,12$ – для теплообмінних апаратів;

q_{b_n} – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат аналогічного нового устаткування, в даному випадку $q_{b_n} = 0,10$ – для теплообмінних апаратів;

$\Phi_{\text{перв}}^{\text{НОВ}} = 120000 \text{ грн}$ – первісна вартість нового (аналогічного) устаткування.

Коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового:

$$\beta = \frac{T_{\text{МОД}}}{T_{\text{НОВ}}} = \frac{1,5}{2} = 0,75,$$

де $T_{\text{МОД}}$ – тривалість ремонтного циклу устаткування, яке підлягає модернізації;

$T_{\text{НОВ}}$ – тривалість ремонтного циклу аналогічного нового устаткування.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 69 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Коефіцієнт співвідношення продуктивності вдосконаленого устаткування та аналогічного нового устаткування α розраховується по формулі [14]:

$$\alpha = \frac{\Pi_i}{\Pi_{\text{нов}}} = \frac{1,5}{1,5} = 1,$$

де $\Pi_i = 1,5 \text{ кг/с}$ – продуктивність або інший один з найбільш важливих показників, який характеризує роботу устаткування, яке підлягає модернізації;

$\Pi_{\text{нов}} = 1,5 \text{ кг/с}$ – продуктивність або інший один з найбільш важливих показників, який характеризує роботу аналогічного нового устаткування.

Таблиця 8.2 – Значення коефіцієнту ефективності витрат n_{p_i} на модернізацію устаткування.

| Величина коефіцієнта n_{p_i} | Висновок щодо доцільності модернізації устаткування |
|--------------------------------|---|
| $n_{p_i} > 0$ | Модернізація устаткування з економічної точки зору доцільна |
| $n_{p_i} < 0$ | Модернізація устаткування з економічної точки зору недоцільна. Доцільним є придбання нового устаткування. |
| $n_{p_i} = 0$ | Рішення про модернізацію устаткування приймається, виходячи з конкретних виробничих обставин. |

Коефіцієнт ефективності витрат:

$$n_{p_i} = 1 - \frac{M_i + S_{e_i}}{K_{H_i} \alpha \beta + S_{a_i}} = 1 - \frac{6600 + 1300}{120000 \cdot 1 \cdot 0,75 + 2500} = 0,91,$$

де S_{a_i} – втрати від не до амортизації устаткування, яке підлягає модернізації;

K_{H_i} – оптова ціна придбання нового аналогічного устаткування, грн.

Висновок: оскільки $n_{p_i} = 0,91 > 0$ то модернізація устаткування з економічної точки зору доцільна.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 71 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Висновок

У дипломному проекті освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» на тему «Модернізація теплообмінника труба в трубі установки виробництва етилового спирту» розроблено одноходовий розбірний горизонтальний теплообмінник типу «труба в трубі» для охолодження етилового спирту.

Модернізація теплообмінника полягає у тому, що апарат містить сукупність співвісно розміщених горизонтальних труб, зовнішні з яких з'єднано між собою за допомогою тангенційних патрубків з горизонтальними фланцями, а внутрішні – за допомогою тангенційних патрубків з горизонтальними фланцями.

Нове виконання фланців тангенційних патрубків горизонтальними дає змогу збільшити інтенсивність теплообміну зменшити кількість фланцевих з'єднань зазначених патрубків з внутрішніми трубами з двох до одного, що зменшує їх матеріалоємність, а отже й теплообмінника в цілому. Крім того, таке виконання фланців спрощує складання й розбирання теплообмінника.

У результаті виконання дипломного проекту було зроблено опис технологічного процесу; вибрано тип теплообмінника; обґрунтовано вибір конструкції апарата; порівняно основні показники розробленої конструкції з аналогами; проведено патентне дослідження; розроблено рекомендації з охорони праці. Проведені розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій вибраного апарата, а саме параметричний, гідравлічний, розрахунки на міцність основних вузлів та деталей апарата(перевірки товщини стінки труб теплообмінника, розрахунок фланцевого з'єднання і розрахунок опор). Розроблено рекомендації щодо монтажу та експлуатації, визначено рівень стандартизації та уніфікації, здійснено техніко-економічне обґрунтування модернізації. Результати зроблених розрахунків зведені в розрахунково-пояснювальну записку. Частина розрахунків виконано в програмному середовищі Mathcad 15.

Графічна частина проекту виконана у середовищі КОМПАС 3D V17.1 включає в себе технологічну схему (А1), складальне креслення апарата (А1), опору (А1), елемент теплообмінника (А3), хомут (А4) та ілюстрація до технічної ідеї

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 72 |

патенту (А3). До складальних креслень складені специфікації.

За період виконання проекту отримано деклараційний патент України на корисну модель № 129657 U F28D 7/10, а також опубліковано дві тези на XXIII та на XXIV Всеукраїнських науково-практичних конференціях студентів, аспірантів і молодих вчених.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 73 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Выводы

В дипломном проекте образовательно-квалификационного уровня «Бакалавр» на тему «Модернизация теплообменника труба в трубе установки производства этилового спирта» разработан одноходовой разборный горизонтальный теплообменник типа "труба в трубе" для охлаждения этилового спирта.

Модернизация теплообменника заключается в том, что аппарат содержит совокупность соосно размещенных горизонтальных труб, внешние из которых соединены между собой с помощью тангенциальных патрубков с горизонтальными фланцами, а внутренние – с помощью тангенциальных патрубков с горизонтальными фланцами.

Новое исполнение фланцев тангенциальных патрубков горизонтальными позволяет увеличить интенсивность теплообмена и уменьшить количество фланцевых соединений указанных патрубков с внутренними трубами с двух до одного, что уменьшает их материалоемкость, а значит и теплообменника в целом. Кроме того, такое исполнение фланцев упрощает сборку и разборку теплообменника.

В результате выполнения дипломного проекта было сделано описание технологического процесса; выбрано тип теплообменника; обоснован выбор конструкции аппарата; по сравнению основные показатели разработанной конструкции с аналогами; проведено патентное исследование; разработаны рекомендации по охране труда. Проведенные расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкций избранное аппарата, а именно параметрический, гидравлический, расчеты на прочность основных узлов и деталей аппарата (проверки толщины стенки труб теплообменника, расчет фланцевого соединения и расчет опор). Разработаны рекомендации по монтажу и эксплуатации, определен уровень стандартизации и унификации, осуществлено технико-экономическое обоснование модернизации. Результаты произведенных расчетов сведены в расчетно-пояснительную записку. Часть расчетов выполнено в

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ЛН51.065152.001 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 74 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Подпис | Дата | | |

программной среде Mathcad 15.

Графическая часть проекта выполнена в среде КОМПАС 3D V17.1 включает в себя технологическую схему (А1), сборочный чертеж аппарата (А1), опоры (А1), элемент теплообменника (А3), хомут (А4) и иллюстрация к технической идеи патента (А3). К сборочным чертежам составлены спецификации.

За период выполнения проекта получено декларационный патент Украины на полезную модель №129657 U F28D 7/10, а также опубликовано два тезиса на XXIII и на XXIV Всеукраинских научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 75 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Conclusions

In the Bachelor Diploma project on the theme: "Modernization of pipe in pipe heat exchanger of ethyl alcohol production plant" the collapsible horizontal heat exchanger "double pipe" for cooling of ethyl alcohol was designed.

Modernization of the heat exchanger is that the device contains a set of horizontal pipes are placed coaxially, the outer of which are connected by means of tangential nozzles with horizontal flanges and internal pipes are connected by tangential nozzles with horizontal flanges.

The new implementation of flanges tangential horizontal nozzles allows you to increase the intensity of the heat transfer and reduce the number of these manifold flanges with inner tubes from two to one, reducing their material consumption and thus the heat exchanger as a whole. In addition, such implementation of flanges simplifies the assembly and disassembly of the heat exchanger.

As a result of the Bachelor Diploma project the description was made of the process; the type of the heat exchanger was selected; the choice of the design machine was validated; key indicators were compared with analogues of the design; the patent research was made; the recommendations of labour protection were developed.

The calculations proving the efficiency and reliability of the selected device structures were made, such as parametric, hydraulic calculations for strength and basic units of the machine (the check of pipe wall thickness of the heat exchanger, the calculation of flange connections and poles). Recommendations for installation and operation were made, the level of standardization and unification was defined, and a feasibility study of modernization was made. The calculation results are given in the calculation and the explanatory note. The part of calculations was made in the software environment Mathcad 15.

The graphic part of the project is made in "COMPAS 3D environment V17.1" and includes the flowchart(A1), the assembly drawing of the machine (A1), the support (A1), the heat exchanger element (A3), the collar (A4) and the technical illustration of

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 76 |
| ЗМН. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

the idea of patent (A3). The specifications were made for assembly drawings specification.

During the period of performance of the project the declarative patent was obtained for utility model №112663 U F28D 7/10, and two reports were published at “XXIII and XXIV Ukrainian Scientific Conference of Students and Young Scientists”.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 77 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Перелік посилань

1. Смирнова Анастасия. Производство этилового спирта из картофеля [Электронный ресурс] / А. Смирнова. – Электронні текстові дані. – Москва: МГУИЭ, 2010. – Режим доступа: <https://xreferat.com/46/840-1-proizvodstvo-etilovogo-spirta-iz-kartofelya.html>, вільний.
2. Патент №122866 (UA), МПК F28D 7/10 (2006.01)31/18,B21C 37/22. Теплообмінник „труба в трубі”/ АНДРЕЄВ ІГОР АНАТОЛІЙОВИЧ (UA); МІКУЛЬОНОК ІГОР ОЛЕГОВИЧ (UA); ПИЩИК БОГДАН ІГОРОВИЧ (UA) . Заявка № u 2017 08937, 08.09.2017; Опубл.25.01.2018, Бюл. № 2.
3. Патент №131668 (UA), МПК F28D 7/10 (2006.01)31/18,B21C 37/22. Теплообмінник „труба в трубі”/ Мандрик Олег Миколайович (UA); Іванов Володимир Іванович (UA); Гладь Іван Васильович (UA); Кузенко Антоніна Опанасівна (UA) . Заявка № u u2018 080317, 19.07.2018; Опубл.25.01.2019, Бюл. № 2.
4. Патент №132064 (UA), МПК F28D 7/10 (2006.01)31/18,B21C 37/22. Теплообмінник „труба в трубі”/ Мікульонок Ігор Олегович (UA). Заявка № u 2018 08966, 28.08.2018; Опубл.11.02.2019, Бюл. № 3.
5. Patent US 2019/0084016A1,Int. CI. F28D 7/02,B23P 15/26. Pipe Assembly, Cooling System with Pipe Assembly and Method of Cooling a Fluid/ Lars Standal STROMMEGJERDE Fredrik LUND Appl. №15/123,495; Pub. Mar. 21,2019.
6. Patent US 2018/0320897,Int. CI. F28D 7/02,B23P 15/26. WASTE HEAT RECOVERY/ Stephen Carney, Sebastian Ulmer, Rene' QuisAppl. №15/123,495; Pub. Nov. 08,2018.
7. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химических технологий. Учебное пособие для вузов/Под ред. П. Г. Романкова.– Л.: Химия, 1987. – 576 с., ил.
8. ТУ 3612-014-00220302-99: Теплообменник труба в трубе.
9. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Под

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 78 |

ред. Ю.И. Дытнерского. М.: Химия. 1991. – 496 ст.

10.ГОСТ 14249 - 89: Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.

11.В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонок . «Конструювання та розрахунок фланцевого з'єднання»: Навч. посібник /. – К.НМК ВО, 1992 – 104 с.

12.Писаренко Г.С. Сопротивление материалов / Писаренко Г.С. 5-е изд., перераб. и доп.– К.:Вища школа, Головне видавництво, 1986. – 775с.

13.Методичні вказівки до виконання економічного розділу дипломних проектів ОКР «Спеціаліст» для студентів інженерно-хімічного факультету / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», кафедра міжнародної економіки / укладачі Задольський А.М., БокланН.С. – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 19 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 79 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Додаток А
Документація до патентного дослідження

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 80 |

Додаток А. Регламент патентного пошуку

Регламент патентного пошуку № ЛН51.065152РП

Найменування теми: Теплообмінник «труба в трубі»

Шифр теми: ЛН51.065152.001

Етап: Проектування апарата та його складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень:

ЛН51.065152.001, 18.04.19

Предмет пошуку – теплообмінний апарат типу “труба в трубі”.(Об’єктом пошуку є винаходи і корисні моделі).

Мета пошуку інформації – визначення патентоздатності та патентної чистоти проєктованого апарату й визначення тенденцій розвитку цього напрямку в техніці.

Встановлюємо такі держави пошуку: Україна, Російська Федерація, США.

Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, проте регламент пошуку встановлюємо такий: 2018–2019 р.р.

Класифікаційні індекси:

– міжнародна патентна класифікація: МПК F28D7/10, МПК F28F13/00, МПК F28F1/42.

– уніфікована десятикова класифікація УДК 66.045.

Джерела інформації:

– патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Держпатенту України, Роспатенту;

– науково-технічна інформація: підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічного та нафтопереробного виробництва;

– інтернет ресурси: <http://ep.espacenet.com/>, <http://www.uipv.org>, <http://uapatents.com>, www.freepatent.ru/, <http://www1.fips.ru/>,.

Початок пошуку 18.04.19

Закінчення пошуку 15.05.19

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 81 |

Таблиця А.1 – Регламент пошуку

| Предмет пошуку (ОГД, його складові частини) | Мета пошуку інформації | Держава пошуку | Класифікаційні індекси МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК | Ретро-спективність пошуку | Джерела інформації |
|---|---|--------------------------------|--|---------------------------|--|
| Тепло-обмінний апарат | Визначення патентно-здатності та патентної чистоти проектового апарата й тенденції розвитку цього напрямку в техніці. | Україна, Росія, Федерация, США | МПК F28D7/10, МПК F28F13/00, МПК F28F1/42, УДК 66.045. | 2016-2017 | Національні і зарубіжні офіційні бюлетені. Описи винаходів і корисних моделей. |

Таблиця А.2 – Джерела інформації, використані під час проведення пошуку

| Предмет пошуку (ОГД, його складові частини) | Держава пошуку | Класифікаційні індекси | Інформаційна база, використана під час пошуку | Бібліографічні данні першого та останнього за хронологією джерела інформації | |
|---|--------------------------------|--|---|--|---|
| | | | | Патентна інформація | Інша науково-технічна інформація |
| Тепло-обмінний апарат | Україна, Росія, Федерція, США. | МПК F28D7/10, МПК F28F13/00, МПК F28F1/42, УДК 66.045. | Фонд НТУУ “КПІ” Державний патентний фонд бази даних об’єктів промислової власності, до яких надається безоплатний доступ в Інтернеті http://ep.espacenet.com/ , http://www.uipv.org , http://uapatents.com , www.freepatent.ru/ , http://www1.fips.ru/ | Описи винаходів патентів України № 1–41000. Описи корисних моделей патентів України № 1–1050. Описи винаходів патентів Російської Федерації № 2000000–2140000. | Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971.– 785 с. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1983.– 272 с. |

Таблиця А.3 Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

| ОГД, його складові частини | Документи на об'єкти промислової власності | |
|----------------------------|---|---------------------------|
| | бібліографічні дані | відомості щодо їхньої дії |
| 1 | 2 | 3 |
| Теплообмінний апарат | Патент №122866 (UA), МПК F28D 7/10 (2006.01)31/18,B21C 37/22. Теплообмінник „труба в трубі”/ АНДРЕЄВ ІГОР АНАТОЛІЙОВИЧ (UA); МІКУЛЬОНОК ІГОР ОЛЕГОВИЧ (UA); ПИЩИК БОГДАН ІГОРОВИЧ (UA) . Заявка № u 2017 08937, 08.09.2017; Опубл.25.01.2018, Бюл. № 2. | Діє |
| Теплообмінний апарат | Патент №131668 (UA), МПК F28D 7/10 (2006.01)31/18,B21C 37/22. Теплообмінник „труба в трубі”/ Мандрик Олег Миколайович (UA); Іванов Володимир Іванович (UA); Гладь Іван Васильович (UA); Кузенко Антоніна Опанасівна (UA) . Заявка № u u2018 080317, 19.07.2018; Опубл.25.01.2019, Бюл. № 2. | Діє |
| Теплообмінний апарат | Патент №132064 (UA), МПК F28D 7/10 (2006.01)31/18,B21C 37/22. Теплообмінник „труба в трубі”/ Мікульонік Ігор Олегович (UA). Заявка № u 2018 08966, 28.08.2018; Опубл.11.02.2019, Бюл. № 3. | Діє |
| Теплообмінний апарат | Patent US 2019/0084016A1,Int. CI. F28D 7/02,B23P 15/26. Pipe Assembly, Cooling System with Pipe Assembly and Method of Cooling a Fluid/ Lars Standal STROMMEGJERDE Fredrik LUND Appl. №15/123,495; Pub. Mar. 21,2019. | Діє |

| | | |
|--|--|--|
| | | |
|--|--|--|

Продовження таблиці А.3

| | | |
|----------------------|---|-----|
| Теплообмінний апарат | Patent US 2018/0320897, Int. Cl. F28D 7/02, B23P 15/26. WASTE HEAT RECOVERY/ Stephen Carney, Sebastian Ulmer, Rene' Quis Appl. №15/123,495; Pub. Nov. 08, 2018. | Діє |
|----------------------|---|-----|

Таблиця А.4 Інша науково-технічна документація, відібрана для подальшого аналізу.

| ОГД, його складові частини | Джерела інформації | Бібліографічні дані |
|----------------------------|--|--------------------------|
| Теплообмінний апарат | Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др/ под ред Ю. И Дытнерского. | М.: Химия, 1973.- 756 с |
| Теплообмінний апарат | Плановкий А. Н., Николаев П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии | М.: Химия, 1972. - 496 с |

Висновок. У результаті проведеного патентного дослідження встановлено, що пропонований апарат і його складові частини відповідають умовам патентної чистоти винаходу (корисної моделі) через те, що усі суттєві ознаки найближчих аналогів не використано в проектних апаратах.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 85 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Додаток Б

**Комп'ютерний розрахунок товщини стінок труб для внутрішньої труби, яка
навантажена зовнішнім тиском**

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-----------|
| | | | | | <i>ЛН51.065152.001 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | <i>86</i> |

Дотаток Б1. Алгоритмічна схема перевірного розрахунку товщини стінок труб для внутрішньої труби, яка навантажена робочим внутрішнім тиском
Комп'ютерний розрахунок подано в програмі Mathcad.



Рисунок Б.1 – Алгоритмічна схема перевірного розрахунку
фланцевого з'єднання

У блоці 1 вводять дані, які необхідні для розрахунку, а в блоці 2 проводять розрахунок товщини стінок труб, після чого перевіряються умови міцності. Якщо хоча б одна умова не виконується виводиться повідомлення «умови міцності не виконується», в іншому випадку виводиться повідомлення «умови міцності виконується».

Додаток Б2. Таблиця ідентифікаторів програми перевірконого розрахунку фланцевого з'єднання

Таблиця Б.1 – ідентифікатори програми комп'ютерного розрахунку фланцевого з'єднання теплообмінника.

| Найменування величини | Позначення | Ідентифікатор | Розмірність |
|--|------------|---------------|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Робочий тиск всередині труби | P_1 | p1 | МПа |
| Внутрішній діаметр центральної труби | D_1 | D1 | м |
| Допустиме напруження матеріалу | $[\sigma]$ | σ | МПа |
| Розрахункова температура | T_1 | T1 | К |
| Коефіцієнт зварного шва | φ | φ | |
| Сума додатків до розрахункової товщини | с | с0 | м |
| Додаток до товщини стінки, що враховує корозійний вплив середовища на труби | c_1 | с1 | м |
| Швидкість корозії | v | v | м/рік |
| Час служби апарату | τ | t | роки |
| Додаток до товщини стінки, що враховує мінусовий допуск на виготовлення труб | c_2 | с2 | м |
| Товщина стінки | S | S1 | м |
| Допустимий внутрішній надлишковий тиск | $[p]$ | p2 | МПа |

Додаток Б3. Програма та результати розрахунку фланцевого з'єднання теплообмінника

$$\begin{aligned}
 p1 &:= 0.6 & \sigma &:= 179 & S1 &:= 0.003 & t &:= 10 \\
 D1 &:= 0.02 & \varphi &:= 0.9 & v &:= 0.016 \cdot 10^{-3} & c2 &:= 0.4 \cdot 10^{-3} \\
 c1 &:= v \cdot t = 1.6 \times 10^{-4} \\
 c0 &:= c1 + c2 = 5.6 \times 10^{-4} \\
 p2 &:= \frac{2 \cdot \sigma \cdot \varphi \cdot (S1 - c0)}{D1 + S1 - c0} = 35.034 \\
 p1 &\leq p2 \\
 0.6 &\leq 35.034
 \end{aligned}$$

Додаток В
Патенти, які використані в патентному дослідженні

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 90 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Додаток Г
Публікації автора

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 91 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Додаток Г

Публікації автора

Студента кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв **Крамар Олександр Владиславівни**.

1) Крамар О. В. Підвищення інтенсивності в теплообміннику «труба в трубі». Крамар О. В., Андреев І.А. // Збірник тез доповідей XXIII всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів". К.: 2018 р. Підприємство «УВОІ «Допомога» УСІ». с. 19-20.

2) Крамар О. В. Удосконалення процесу виробництва етилового спирту. Крамар О. В., Яцюк І. О., Андреев І.А. // Збірник тез доповідей XXIV всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів". К.: 2019 р. ФОП Гузік О. М, . с. 16-17.

3) Пат. 129657 U Україна МПК (2006.01) F28D 7/10. Теплообмінник «Труба в трубі» / Андреев І. А., Мікульонок І. О., Крамар О. В.; заявник і патентовласник вони ж. – № u201804094; заявл. 16.04.2018; опубл. 12.11.2018, Бюл. № 21

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЛН51.065152.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 92 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |